

**STUDI PENERAPAN
SISTEM KOMUNIKASI KABEL LAUT
SERAT OPTIK ANTARA SURABAYA - UJUNG
PANDANG - BANJARMASIN**



RSB
691.382.72
Bdd
S-1
1905

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	26-6-2000
Teknis/Non	H
No. Agensi Ptp	21308

OLEH :

I. G. P. ASTO BUDITJAHJANTO
NRP. 2295.100.509

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**



ABSTRAK

Seiring dengan perkembangan kebutuhan pelanggan akan layanan telepon maka jumlahnya semakin meningkat pula. Indonesia sebagai negara kepulauan yang dipisahkan oleh lautan memiliki suatu kendala untuk mengatasi kebutuhan ini karena adanya jarak yang dipisahkan oleh laut tersebut. Untuk itu diperlukan pertimbangan dalam pemilihan suatu teknologi yang dapat mengatasi kendala ini. Teknologi yang dipilih adalah dengan menggunakan Sistem Komunikasi Kabel laut Serat Optik yang dapat memenuhi kriteria dalam menghadapi kendala tersebut.

Dalam penerapan Sistem Komunikasi Kabel Laut Serat Optik yang menghubungkan Surabaya - Ujung Pandang - Banjarmasin dipergunakan repeater berpenguat optik yang memiliki keunggulan dalam kemampuan peningkatan kapasitas sistem (kurang lebih 60.000 saluran), unjuk kerja yang tinggi serta pengurangan biaya pemasangan. Dengan menggunakan sistem yang dapat mentransmisikan laju bit sebesar 5 Gbit/s dan dapat menyediakan keandalan yang tinggi maka permasalahan tersebut dapat diatasi.

Untuk membentuk suatu sistem yang menghubungkan ketiga kota tersebut dibutuhkan pemilihan jenis kabel berdasarkan kedalaman permukaan dasar laut serta perhitungan jumlah repeater yang dibutuhkan untuk menghubungkan ketiga kota tersebut yang kurang lebih berjarak sejauh 1950 km. Setelah melalui perhitungan link budget sistem yang menghubungkan Surabaya - Ujung Pandang - Banjarmasin membutuhkan repeater berpenguat sebanyak 22 buah dengan rincian Banjarmasin - Ujung Pandang 7 buah repeater, Banjarmasin - Surabaya 5 buah repeater dan Surabaya - Ujung Pandang 10 buah repeater.

KATA PENGANTAR

Dengan rahmat Allah SWT semata, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul :

***STUDI PENERAPAN SISTEM KOMUNIKASI KABEL LAUT SERAT OPTIK
ANTARA SURABAYA - UJUNG PANDANG - BANJARMASIN***

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan akademis di Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, untuk menyelesaikan program studi sarjana.

Besar harapan penulis, semoga buku Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan.

Surabaya , Pebruari 1998

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya buku Tugas Akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Teguh Juwono, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS.
2. Bapak Ir. Achmad Ansori, DEA, selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. M. Aries Purnomo, selaku Koordinator Bidang Studi Teknik Telekomunikasi.
4. Kepada seluruh Staf dan Pimpinan PT Tritech yang telah membantu penulis dalam memberikan data-data yang diperlukan.
5. Bapak dan Ibu serta kakak - kakak penulis yang telah memberikan dorongan moral maupun material.
6. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro, FTI - ITS yang membantu baik secara langsung maupun yang tidak langsung dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Rekan - rekan penulis dan segenap pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan studi.

Semoga Tuhan Yang Maha Pengasih memberikan karunia-Nya atas jasa dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis.

DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Permasalahan dan batasan masalah	2
1.3 Metodologi	3
1.4 Sistematika studi	3
1.5 Tujuan dan relevansi	4
BAB II TEORI DASAR SERAT OPTIK	5
2.1 Konfigurasi sistem komunikasi serat optik	5
2.2 Karakteristik serat optik	6
2.3 Propagasi dalam serat optik	8
2.3.1 Numerical aperture dan reflectance	9

	Halaman
2.4 Struktur dasar serat optik	11
2.5 Jenis serat optik	13
2.5.1 Serat optik singlemode	13
2.5.2 Serat optik multimode step index	14
2.5.3 Serat optik multimode graded index	15
2.6 Dispersi serat optik	16
2.7 Komponen optik	19
2.7.1 Sumber optik	19
2.7.1.1 Light Emitting Diode (LED)	19
2.7.1.2 Laser Diode (LD)	20
2.7.2 Detektor optik	22
2.7.2.1 Avalanche Photodiode (APD)	23
2.7.2.2 PIN Diode	24
2.8 Rugi-rugi pada serat optik	25
2.8.1 Rugi-rugi karena bahan serat optik	25
2.8.1.1 Rugi-rugi penyerapan	25
2.8.1.2 Rugi-rugi Rayleigh cattering	26
2.8.2 Rugi-rugi sebagai media transmisi	27
2.8.2.1 Rugi-rugi karena penyambungan	28
2.8.2.1.1 Rugi-rugi splice	28
2.8.2.1.2 Rugi-rugi konektor	28
2.8.2.2 Rugi-rugi pelengkungan	29
2.8.2.3 Rugi-rugi coupling	29

	Halaman
BAB III SISTEM KOMUNIKASI KABEL LAUT SERAT OPTIK	31
3.1 Konfigurasi sistem	32
3.2 Terminal Transmission Equipment	34
3.2.1 Line Terminating Equipment	35
3.2.1.1 Konfigurasi LTE	37
3.2.1.2 Forward Error Coding	39
3.3 Line Monitoring Equipment	40
3.3.1 Peralatan pengawasan repeater	42
3.3.2 Cable Terminal Equipment	43
3.4 Power Feeding Equipment	45
3.5 Peralatan bawah laut	50
3.5.1 Repeater	50
3.5.1.1 Komponen repeater	52
3.5.1.2 Prinsip operasi	57
3.5.2 Kabel laut serat optik	61
3.5.2.1 Struktur kabel laut serat optik	63
3.5.2.2 Jenis kabel laut serat optik	66
3.5.2.2.1 Kabel laut serat optik tanpa pelindung	66
3.5.2.2.2 Kabel laut serat optik dengan pelindung	70
3.5.3 Karakteristik kabel laut serat optik	77
3.5.3.1 Karakteristik mekanik	77
3.5.3.2 Karakteristik elektrik	79
3.5.3.3 Karakteristik optik	80

	Halaman
BAB IV IMPLEMENTASI SKKL SERAT OPTIK SBY-UP-BJM	83
4.1 Pemilihan rute kabel	83
4.2 Lokasi survey	85
4.3 Umur dan keandalan sistem	88
4.3.1 Keandalan peralatan bawah laut	89
4.3.2 Keandalan peralatan terminal	91
4.4 Sistem jaringan	92
4.5 Perhitungan anggaran daya	94
4.5.1 Perhitungan jarak anatar repeater	96
4.5.2 Penentuan jumlah repeater	97
4.5.3 Perhitungan anggarandaya optik dari terminal ke repeater pertama	100
4.6 Perencanaan sistem catu daya repeater	106
BAB V KESIMPULAN	115
5.1 Kesimpulan	115
5.2 Saran	116
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Konfigurasi	5
2.2 Proses pemantulan dan pembiasan cahaya	9
2.3 Proses masuknya cahaya ke dalam serat optik	10
2.4 Struktur dasar serat optik	12
2.5 Perbandingan singlemode, multimode step index & graded index	14
2.6 Pelebaran pulsa disebabkan dispersi	16
2.7 Dispersi waveguide & dispersi material pada serat optik singlemode	18
2.8 Edge emitting LED dengan double-heterostructure	20
2.9 Struktur LD DFB	21
2.10 Avalanche photodiode	23
2.11 PIN photodiode	24
2.12 Karakteristik redaman serat optik	27
2.13 Konfigurasi konektor plug-adaptor-plug	29
2.14 (a) Ketidaklurusan sambungan (b) Contoh dari ketidaktepatan persiapan ujung yang menyebabkan rugi-rugi coupling ekstrinsik	30
3.1 Konfigurasi SKKL	31
3.2 Sistem bawah laut berepeater	32
3.3 Blok sistem berepeater point-to-point	33
3.4 Blok diagram stasiun terminal	34

	Halaman
3.5 Blok diagram 5G LTE	38
3.6 Blok diagram CTE	44
3.7 Konfigurasi sistem catu daya berepeater	46
3.8 Sistem catu daya repeater arus konstan seri	48
3.9 Blok diagram PFE	49
3.10 Blok diagram repeater berpenguat optik	54
3.11 Karakteristik tipikal gain dengan daya input EDFA	58
3.12 Unit serat optik	63
3.13 Tipe kabel LW	67
3.14 Tipe kabel LWS	69
3.15 Inti kabel dari kabel berlindung	71
3.16 Tipe kabel SAL	72
3.17 Tipe kabel SAM	74
3.18 Tipe kabel DA	76
4.1 Jaringan SDH (ADM & MUX)	93
4.2 Konfigurasi subjaringan	94
4.3 Sistem III	98
4.4 Sistem II	99
4.5 Sistem I	100
4.6 Sistem pencatutan daya repeater untuk sistem Sby-Bjm	109
4.7 Sistem pencatutan daya repeater untuk sistem Bjm-Up	111
4.8 Sistem pencatutan daya repeater untuk sistem Up-Sby	113

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Perbandingan antara serat optik dengan media transmisi lainnya	8
3.1 Karakteristik operasi normal dari repeater	60
3.2 Karakteristik serat optik jenis DSF	64
3.3 Karakteristik tipe kabel laut	68
3.4 Desain obyektif karakteristik mekanik kabel laut serat optik	77
4.1 Sistem I	86
4.2 Sistem II	87
4.3 Sistem III	88
4.4 Alokasi FIT pada subsistem repeater	90
4.5 Anggaran daya optik untuk Sby-Bjm	100
4.6 Anggaran daya optik untuk Bjm-Up	103
4.7 Anggaran daya optik untuk Up-Sby	105

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Indonesia sebagai negara kepulauan yang terpisah antara pulau yang satu dengan yang lainnya dan dengan jumlah penduduk yang besar, membutuhkan suatu media atau sarana yang dapat menjaga persatuan dan kesatuan bangsa yaitu dengan menggunakan sistem komunikasi nasional yang handal dan memadai.

Sedangkan pada saat ini Indonesia sedang giatnya melaksanakan pembangunan menyeluruh termasuk didalamnya adalah pengembangan wilayah Indonesia Bagian Timur yang salah satu bentuk pembangunannya melalui kemudahan dan kelancaran dalam melakukan hubungan telekomunikasi.

Perkembangan pembangunan tersebut terutama dikawasan bisnis dan industri membutuhkan pertukaran informasi dengan kapasitas dan kehandalan yang tinggi. Kebutuhan ini kurang mencukupi dengan menggunakan sistem yang konvensional, radio maupun dengan kabel coaxial. Oleh sebab itu pembangunan jaringan transmisi dengan menggunakan teknologi fiber optik dan transmisi digital membawa perkembangan baru pada jaringan utama komunikasi jarak jauh.

Dalam era globalisasi informasi dewasa ini, teknologi transmisi telekomunikasi dengan kehandalan dan kualitas pengiriman informasi yang cukup tinggi, kemampuan menampung jumlah informasi yang cukup banyak, mampu melayani komunikasi dengan jarak yang cukup jauh serta memiliki umur pakai yang relatif lama merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi.

Teknologi serat optik merupakan salah satu teknologi transmisi telekomunikasi yang dapat menjawab permasalahan tersebut. Serat optik mampu memberikan kemajuan teknologi transmisi telekomunikasi, dengan memiliki kemampuan dapat menampung jumlah kapasitas kanal informasi yang cukup besar, keandalan yang tinggi, jarak tempuh yang cukup jauh, dimensi ukuran yang kecil dan ringan, tahan terhadap derau atau noise dan pengaruh crosstalk dapat dihindari serta dapat digunakan pada kecepatan bit yang tinggi.

Dengan kelebihan dan keunggulan yang dimiliki oleh serat optik, maka sangat cocok dan efisien digunakan sebagai media transmisi untuk membawa sinyal informasi dalam jumlah yang besar dan jarak transmisi yang cukup jauh sehingga dapat digunakan sebagai media sistem transmisi telekomunikasi jarak jauh melalui dasar laut atau yang lebih dikenal dengan Sistem Komunikasi Kabel Laut.

1.2 PERMASALAHAN DAN BATASAN MASALAH

Dalam menerapkan Sistem Komunikasi Kabel Laut serat optik, sebelumnya diperlukan pemilihan lokasi dan rute yang akan digunakan untuk kabel laut serat optik akan ditempatkan dengan menitikberatkan pada permasalahan pemasangan mekanik peralatan yang berada di dasar laut dengan memperhatikan kondisi alam dan segala kegiatan aktifitas yang ada disekelilingnya, pemilihan jenis kabel laut serat optik yang akan digunakan dan cara pemasangan kabel laut serat optik berdasarkan dengan kondisi dasar laut dimana kabel laut serat optik akan ditempatkan, yang kesemuanya membutuhkan suatu perhitungan sebelum menerapkan sistem tersebut. Sedangkan batasan masalah dalam Tugas Akhir ini hanya akan membahas pada pemilihan kabel, penentuan jarak repeater, serta penentuan rute sistem tersebut.

1.3 METODOLOGI

Pada Tugas Akhir yang berjudul "Studi Penerapan Sistem Komunikasi Kabel Laut Serat Optik Antara Surabaya - Ujung Pandang - Banjarmasin" ini menggunakan beberapa metode. Pada tahap awal, menganalisa literatur-literatur yang berhubungan dengan sistem komunikasi kabel laut serat optik, setelah mendapatkan data yang cukup akan menganalisa sistem dan hasil survey lapangan.

1.4 SISTEMATIKA STUDI

Dalam mempermudah pembahasan permasalahan, maka secara ringkas sistematika penulisan Tugas Akhir ini akan disusun dalam beberapa bab. Uraian sistematis penyajian bab demi bab adalah sebagai berikut :

Bab I Pendahuluan

Menjelaskan permasalahan yang akan dibahas secara umum dengan memperhatikan latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, metodologi serta tujuan dan relevansi penulisan.

Bab II Teori Dasar Serat Optik

Memberikan teori dasar mengenai serat optik termasuk didalamnya komponen-komponennya.

Bab III Sistem Komunikasi Kabel Laut Serat Optik

Membahas mengenai diskripsi umum, konfigurasi sistem, umur dan keandalan sistem serta parameter unjuk kerja sistem SKKL Serat Optik. Pembahasan diberikan untuk memberikan gambaran umum mengenai SKKL Serat Optik.

Bab IV Implementasi Sistem Komunikasi Kabel Laut Serat Optik antara Surabaya - Ujung Pandang - Banjarmasin .

Berisikan pembahasan penerapan sistem transmisi serat optik dengan memperhatikan parameter-parameter yang digunakan pada SKKL tersebut.

Bab V Kesimpulan

Pada bab terakhir penulisan Tugas Akhir ini berisikan kesimpulan dari pembahasan-pembahasan bab-bab sebelumnya.

1.5 TUJUAN DAN RELEVANSI

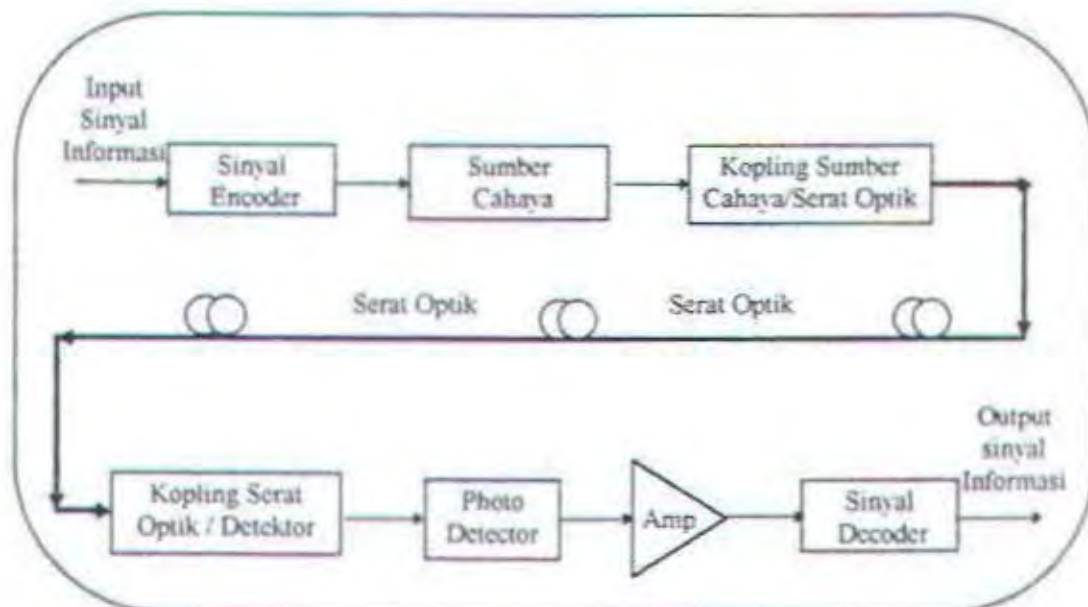
Tujuan Tugas Akhir ini adalah untuk menjelaskan teknologi yang digunakan pada sistem transmisi jarak jauh dalam hal ini Sistem Komunikasi Kabel Laut (SKKL) serat optik. Dengan mempelajari dan memahami permasalahan yang ada, pada tahap selanjutnya diharapkan pemahaman yang telah dimiliki dapat digunakan dalam melakukan analisa perhitungan SKKL Serat Optik sesuai dengan persyaratan yang diinginkan.

BAB II

TEORI DASAR SERAT OPTIK

2.1 Konfigurasi Sistem Komunikasi Serat Optik

Prinsip dasar dari sistem komunikasi serat optik adalah dengan mentransmisikan sinyal informasi dalam bentuk sinyal optik sehingga dapat disalurkan melalui serat optik. Elemen-elemen yang digunakan dalam sistem komunikasi serat optik antara lain pemancar yang mengubah sinyal listrik menjadi sinyal optik, media transmisi berupa serat optik serta penerima yang dapat mengubah sinyal optik yang dikirimkan menjadi sinyal listrik kembali. Proses pengiriman informasi yang melalui serat optik menggunakan prinsip pemantulan sinyal optik yang berupa cahaya dengan panjang gelombang tertentu.



Gambar 2.1¹ Konfigurasi Sistem Komunikasi Serat Optik

¹ PT Telekomunikasi Indonesia, 'Teknologi Optik', Pusat Pendidikan dan Latihan, hal. 15

2.2 Karakteristik Serat Optik

Serat optik mempunyai beberapa karakteristik seperti media transmisi telekomunikasi lainnya yang mempunyai keunggulan serta kekurangannya. Karakteristiknya adalah sebagai berikut³:

a. *Rugi-rugi transmisi rendah dan bandwidth yang lebar*

Serat optik memiliki rugi-rugi transmisi yang lebih rendah dan bandwidth lebih lebar dibandingkan kawat tembaga. Kemampuan bandwidthnya secara teori lebih dari 10 GHz dan redaman lebih kecil dari 0.3 dB/km. Kombinasi dari bandwidth yang lebar dan redaman yang rendah menjadikan fiber paling rendah dalam biaya transmisi medium per kanal kilometer. Dengan bandwidth yang lebar sejumlah informasi atau pembicaraan atau pesan yang banyak / besar dapat dibawa melalui rangkaian khusus. Dengan sistem kabel serat optik data lebih banyak dikirim melewati jarak yang lebih jauh, dengan demikian penurunan jumlah kawat dan pengurangan jumlah repeater dapat dilakukan untuk bentangan ini. Pengurangan dalam jumlah peralatan dan komponen menurunkan biaya sistem dan kompleksitasnya.

b. *Kebal terhadap interferensi*

Serat optik mempunyai transmisi yang bebas noise, di mana kabel serat optik tahan terhadap interferensi yang disebabkan pencahayaan, dekat motor, relay dan noise generator listrik yang pada kawat tembaga menyebabkan masalah kecuali dibungkus dan difilter, oleh karena itu serat optik dapat dioperasikan di lingkungan yang mempunyai noise listrik. Karena tahan terhadap daerah medan elektromagnetik, serat optik tidak membutuhkan pelindung logam yang besar sekali dan dapat dipasang secara bersamaan dengan kabel daya jika perlu.

³ Robert J.Hoss dan Edward A.Lacy, 'Fiber Optics', Hall, New Jersey 1982, Hal 6

c. *Diameter yang kecil dan ringan*

Kabel serat optik besarnya serabut, sehingga meskipun sudah dilapisi pelindung serat optik masih lebih kecil dan lebih ringan bila dibandingkan dengan kabel tembaga.

d. *Dapat meniadakan crosstalk*

Pada rangkaian komunikasi konvensional, sinyal seringkali keliru dari satu rangkaian ke rangkaian yang lain sehingga mengakibatkan pada panggilan yang lain dapat didengar pada background. Crosstalk ini dapat diabaikan dengan serat optik bahkan ketika sejumlah serat optik dikabelkan secara bersama-sama.

e. *Kualitas transmisi yang tinggi*

Sebagai akibat dari tahan noise, fiber noise secara biasa menyediakan kualitas perintah yang besarnya lebih baik daripada tembaga atau gelombang mikro. Standar umum untuk jalur transmisi serat optik adalah 10^{-9} BER dengan BER minimum 10^{-11} atau lebih baik dari tembaga dan sistem gelombang mikro dengan BER sebesar 10^{-5} dan 10^{-7} .

f. *Tahan lama*

Usia dari serat optik diperkirakan 20 sampai 50 tahun dibandingkan dengan kabel konvensional yang hanya 12 hingga 15 tahun. Bagaimanapun gelas tidak mengalami korosi seperti logam.

g. *Bahan material yang berlimpah*

Silika merupakan bahan material untuk membuat serat optik. Bahan material ini jumlahnya berlimpah dan tidak mahal yang biasanya ditemukan dalam pasir. Biaya pembuatan serat optik meningkat dalam proses yang dibutuhkan untuk membuat gelas dari material ini.

h. *Lentur*

Pada umumnya serat optik tidak akan patah bila dilengkungkan dengan radius 5 mm. Oleh karenanya kabel serat optik mempunyai kelenturan yang sama dengan kabel transmisi biasa, sehingga teknik pemasangannya tidak jauh berbeda dengan teknik kabel biasa.

Tabel 2.1³ Perbandingan antara serat optik dengan media transmisi lainnya

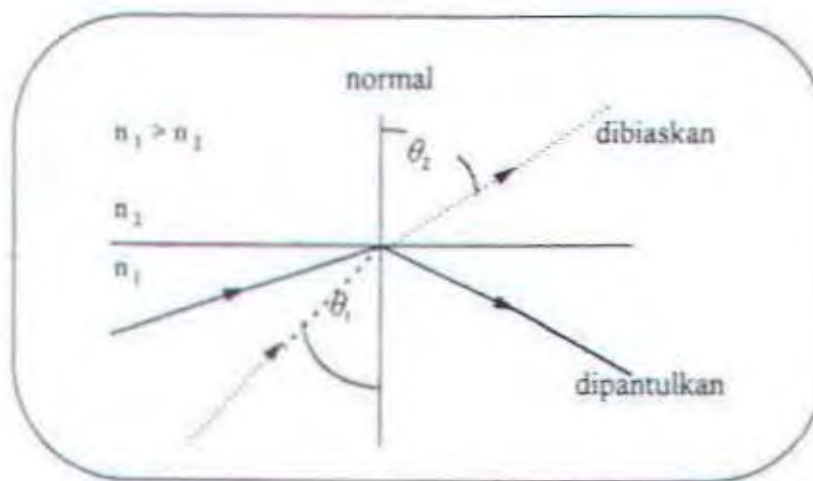
	Pair/star Cable	Coaxial Cable	Millimeter Waveguide	Optical Fiber Cable
Diameter (mm)	1 - 4	10	50	0,1 - 0,2
Kelenturan	tinggi	tinggi	tidak	tinggi
Kelengkungan	> 0,1 cm	> 50 cm	> 3000 cm	> 0,5 cm
Rugi (dB/km)	20 (4MHz)	19 (60 MHz)	2	2 - 8
Lebar Frekuensi	6 MHz	200 - 400 MHz	40 - 120 MHz	16 MHz.km
Kapasitas penyaluran	1	10	10 - 30	100
Repeater	Repeater konvensional	Repeater konvensional	Dalam proses penelitian	Dibutuhkan repeater konvensional + optoelectric dan electric to optic converter
Jarak Repeater (km)	2	1,5 (60 MHz)	10 - 30	5 - 10 tergantung dari jenis kabel optik
Bahan Dasar	Tembaga	Tembaga	Tembaga/besi	Silica Multi Component Glass

2.3 Propagasi Cahaya Dalam Serat Optik

Propagasi cahaya di dalam serat optik terjadi karena pemantulan. Pemantulan ini disebabkan oleh adanya perbedaan indeks bias antara inti dan pembungkus. Jika seberkas cahaya memasuki suatu medium dengan indeks bias yang berbeda, maka akan terjadi pembiasan atau pemantulan cahaya yang didasarkan atas hukum Snellius sebagai berikut: Hukum Snellius menyatakan bahwa ⁴.

³ PT Telekomunikasi Indonesia Op. Cit. hal. 12⁴ Ibid. hal. 24

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$



Gambar 2.2⁵ Proses pemantulan dan pembiasan cahaya

Sudut kritis adalah sudut antara sinar datang terhadap garis normal dimana sinar tersebut akan dibiaskan sejajar dengan antarmuka atau sudut $\theta_2 = 90^\circ$, sehingga

$$n_1 \sin \theta_{cr} = n_2 \sin 90$$

$$\theta_{cr} = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$$

Sudut kritis θ_{cr} adalah sudut terkecil dimana cahaya yang datang masih dapat dipantulkan. Untuk sudut $\theta > \theta_{cr}$ cahaya akan dipantulkan sempurna, sedangkan untuk $\theta < \theta_{cr}$ cahaya akan dibiaskan keluar dari inti

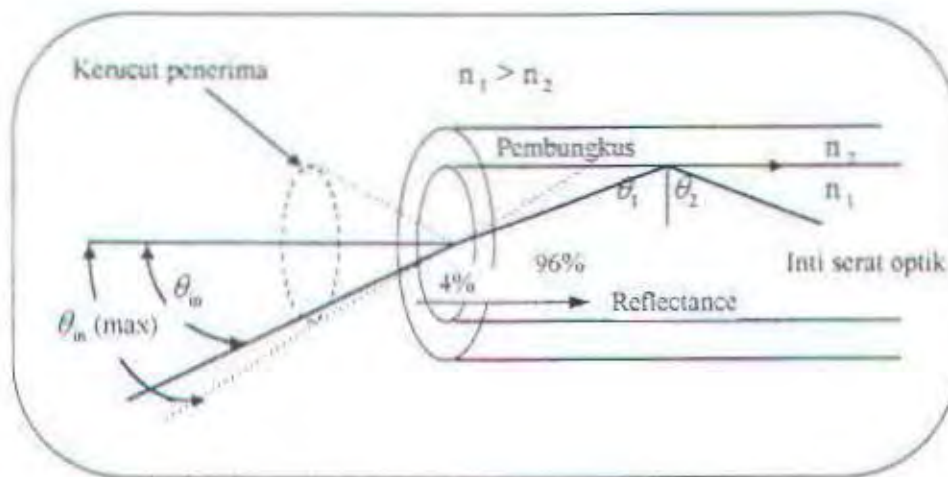
2.3.1 Numerical Aperture dan Reflectance

Tiga faktor penting yang membatasi pemanfaatan sistem komunikasi serat optik yaitu: a. Kopling input cahaya ke serat optik

⁵ Gunther Mahlke dan Peter Gossing, 'Fiber Optik Cables: fundamentals, cable engineering, system planning', Siemens Aktiengesellschaft, Berlin 1993, hal 22.

- b. Redaman di dalam serat optik
- c. Dispersi waveguide yang akan membatasi bandwidth dari sistem

Kopling input dan dispersi dipengaruhi Numerical Aperture (NA) dari serat optik. Seberapa besar berkas cahaya dapat dikopel ke dalam serat, dibatasi oleh numerical aperture dan reflectance.



Gambar 2.3⁶ Proses masuknya cahaya ke dalam serat optik

Pada saat cahaya tiba di permukaan serat dengan sudut yang tepat, 96% masuk ke dalam serat dan 4% dipantulkan. Reflectivity dirumuskan sebagai berikut ⁷:

$$\text{Reflectivity} = \left[\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right]^2$$

Untuk udara harga $n_2 = 1$

Numerical aperture adalah besaran yang diukur pada sudut penerimaan maksimum pada input serat optik (θ_{in} Maksimum) dimana berkas cahaya masih dapat direfleksikan di dalam inti.

⁶ PT Telekomunikasi Indonesia Op. Cit. Hal 18

⁷ PT Telekomunikasi Indonesia Op. Cit. Hal 17

Tetapi tidak berarti bahwa semua berkas cahaya didalam sudut ini akan dipropagasikan di dalam serat. Karena pada sudut θ_m maksimum cahaya yang masuk ke dalam serat dipantulkan sejajar dengan batas inti dan pembungkus. Menghitung besarnya NA dirumuskan dengan :

$$NA = \sin \theta_m (\text{maks}) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

rumus diatas berlaku untuk medium pada input adalah udara ($n = 1$).

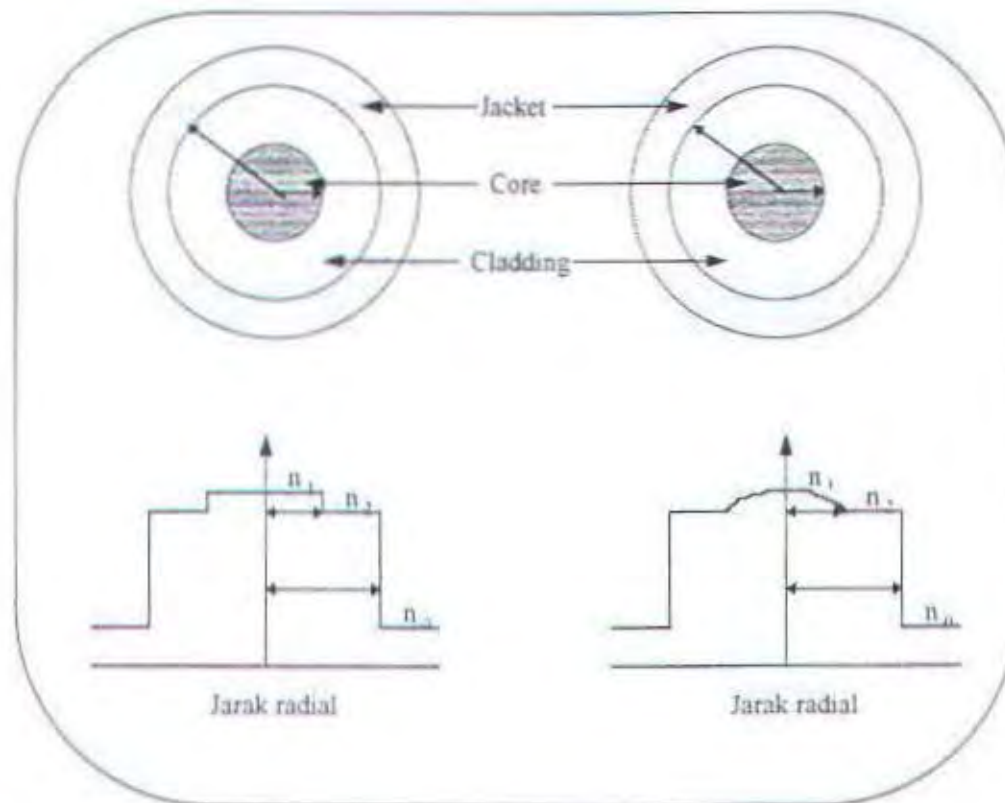
2.4 Struktur Dasar Serat Optik

Kabel serat optik terdiri dari inti atau bagian dalam yang disebut dengan *core* dan pembungkus atau bagian luar yang disebut *cladding* yang mengelilinginya, serta yang paling luar berfungsi sebagai pelindung (*jacket*).

Bahan inti terbuat dari kaca (gelas) atau plastik yang berfungsi untuk mentransmisikan gelombang cahaya. Sedangkan pembungkusnya yang terbuat dari plastik khusus berfungsi untuk mengarahkan perambatan gelombang cahaya didalam serat optik tersebut. Inti dan pembungkus mempunyai indeks bias yang berlainan, inti selalu mempunyai indeks bias yang lebih besar dari pada pembungkusnya agar cahaya yang masuk dalam inti tidak diradiasikan keluar. Sedangkan *jacket* melindungi serat optik dari gesekan dan goresan.

Biasanya susunan serat optik terdiri dari tiga macam tipe yaitu inti dan pembungkus dari plastik, inti dari gelas dengan pembungkus dari plastik atau inti dan pembungkus dari gelas. Bahan pembentuk untuk plastik bagi inti dari polystyrene atau polymethyl methacrylate sedangkan pembungkus dari teflon. Sedangkan bahan pembentuk gelas adalah silika yang banyak dijumpai pada kandungan pasir sehingga

jumlahnya cukup melimpah. Kebanyakan penggunaan fiber optik terbuat dari gelas dibandingkan dengan plastik karena plastik memiliki rugi-rugi yang lebih besar



Gambar 2.4³ Struktur dasar serat optik

Berdasarkan rekomendasi CCITT G651 bahwa standar ukuran serat optik adalah sebagai berikut

1. Untuk graded index multimode fiber, diameter inti $50 \pm 30 \mu\text{m}$ dan diameter luar $125 \pm 3 \mu\text{m}$
2. Untuk single mode, diameter inti $8 \mu\text{m}$ nominal dan diameter luar $125 \pm 3 \mu\text{m}$

³ Govind P. Agrawal, 'Fiber-Optic Communication System', John Wiley & Sons, Canada 1992, hal 23

2.5 Jenis Serat Optik

Menurut jumlah mode cahaya yang merambat pada inti serat optik dibagi menjadi dua :

1. *Serat optik single-mode* , yaitu pada inti serat hanya ada satu mode cahaya yang merambat.
2. *Serat optik multimode* , yaitu pada inti serat ada lebih dari satu mode cahaya yang merambat.

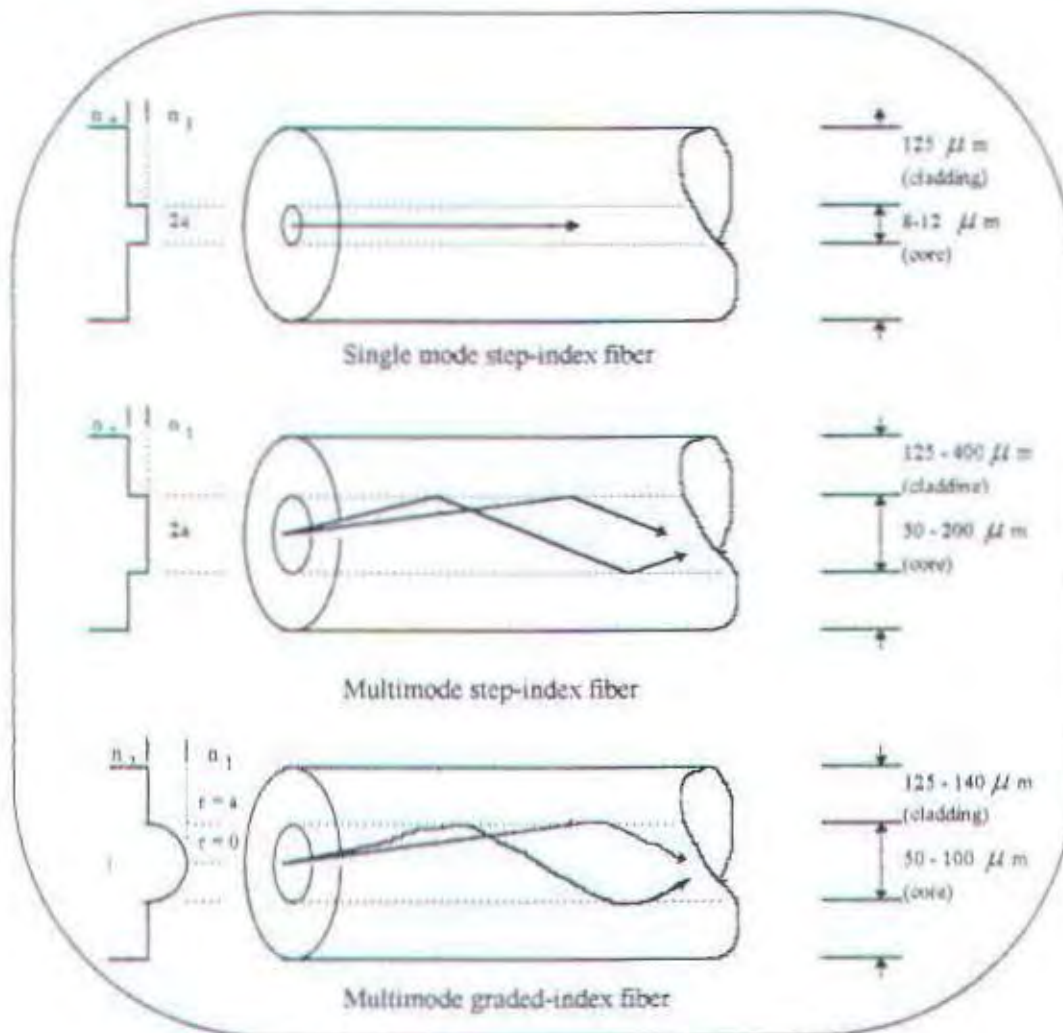
Serat optik single mode mempunyai kelebihan dibanding multifiber dalam hal redaman yang lebih kecil, dan lebar pita transmisi yang lebih lebar. Dengan demikian jumlah informasi yang dikirim lebih banyak dan dengan jarak transmisi yang jauh.

2.5.1 Serat Optik Single Mode

Untuk serat optik dengan single mode , indeks bias akan berubah dengan segera pada batas antara inti dan pembungkus (step index). Inti dan pembungkus bahannya terbuat dari gelas silika. Diameter inti jauh lebih kecil ($10\ \mu\text{m}$), dibandingkan dengan diameter pembungkus ($125\ \mu\text{m}$).

Konstruksi dibuat demikian untuk mengurangi rugi-rugi transmisi akibat adanya fading. Serat optik single-mode sangat baik digunakan untuk menyalurkan informasi jarak jauh karena disamping rugi-rugi transmisi yang kecil serta mempunyai pita frekuensi yang lebar.

Serat optik single mode dapat juga dibuat dengan indeks bias yang berubah secara perlahan-lahan (graded index), tetapi memerlukan biaya yang tinggi sehingga tidak ekonomis lagi.



Gambar 2.5⁹ Perbandingan single-mode, multimode step-index dan graded index

2.5.2 Serat Optik Multi Mode Step Index

Pada serat optik multimode step index mempunyai diameter inti yang besar ($50 - 200 \mu\text{m}$) dibandingkan dengan diameter pembungkus ($125 - 400 \mu\text{m}$). Sama halnya dengan serat optik single-mode, pada serat optik ini terjadi perubahan indeks bias dengan segera (step index) pada batas antara inti dan pembungkus. Diameter yang besar ($50 - 400$

⁹ Gerd Keiser, 'Optical Fiber Communications', McGraw-Hill, Singapore 1993, hal. 27

μm) digunakan untuk menaikkan efisiensi coupling pada sumber cahaya yang tidak koheren seperti LED.

Karakteristik penampilan serat optik ini sangat bergantung pada macam material / bahan yang digunakan. Berdasarkan percobaan penambahan prosentase bahan silika pada serat optik ini akan meningkatkan penampilan. Tetapi jenis serat optik ini tidak populer karena meskipun kadar silikanya ditingkatkan, rugi-rugi dispersi waktu pengiriman tetap besar. Sehingga hanya baik digunakan untuk menyalurkan data dengan kecepatan rendah serta jarak relatif dekat.

2.5.3 Serat Optik Multi Mode Graded Index

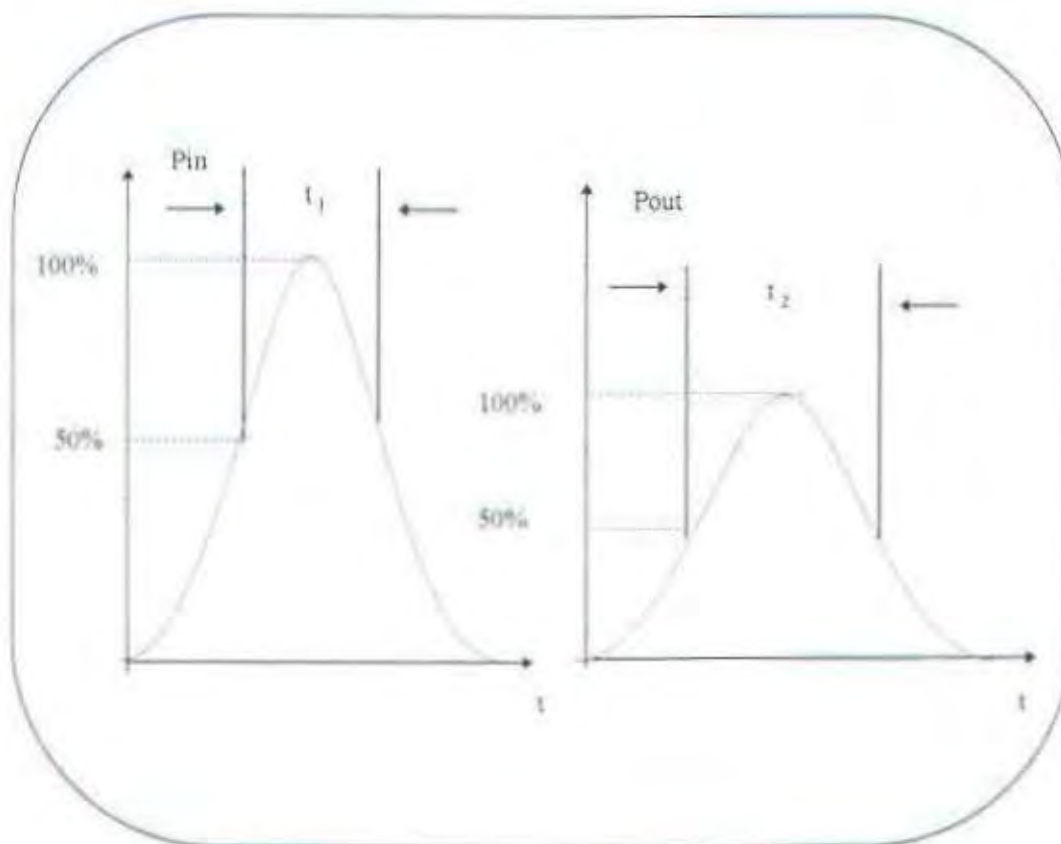
Pada serat optik jenis ini dibuat dengan menggunakan bahan multi component glass atau dapat juga dengan silica glass bail untuk inti maupun pembungkusnya. Pada serat optik jenis ini, index bias berubah secara perlahan-lahan (graded index).

Indeks bias inti berubah mengecil perlahan mulai dari pusat inti sampai batas antara inti dengan pembungkus. Makin mengecilnya indeks bias akan menyebabkan kecepatan rambat cahaya akan semakin tinggi dan berakibat dispersi waktu antara berbagai mode cahaya yang merambat akan berkurang dan pada akhirnya semua mode cahaya akan tiba pada waktu yang bersamaan di penerima. Diameter inti jenis serat optik ini lebih kecil dibandingkan dengan diameter inti jenis serat optik Multi Mode Step Index. Dengan diameter inti $50 - 100 \mu\text{m}$ sedangkan diameter pembungkus $125 - 140 \mu\text{m}$. Biaya pembuatan jenis serat optik ini sangat tinggi bila dibandingkan dengan single mode. Rugi-rugi transmisi minimum adalah sebesar $0,7 \text{ dB/km}$ pada panjang gelombang $1,18 \mu\text{m}$. Oleh karena itu serat optik jenis ini sangat ideal untuk menyalurkan informasi

jarak menengah dengan menggunakan sumber cahaya LED maupun LASER, disamping penyambungan yang relatif mudah.

2.6 Dispersi Serat Optik

Dispersi menyebabkan pulsa optik yang ditransmisikan sepanjang serat optik menjadi lebar karena mengalami penurunan. Jika pulsa yang berdekatan diperlebar pada suatu titik dimana akan saling tumpang tindih satu sama lain, maka deteksi dari pulsa pada penerima tidak akan mungkin dengan mudah dilakukan.



Gambar 2.6¹⁰ Pelebaran pulsa disebabkan dispersi

¹⁰ Ibid hal 301

Salah terjemah dari pulsa ini atau sering disebut dengan ISI (Inter Symbol Interference) yang menyebabkan turunnya unjuk kerja dari BER. Oleh sebab itu dispersi membatasi jarak transmisi dan transmisi bit rate. Dispersi didefinisikan secara matematika dalam bentuk sebagai berikut¹¹:

$$\text{Dispersi} \approx \frac{\sqrt{t_2^2 - t_1^2}}{L} \text{ ns / km}$$

Penyebab dispersi antara lain sumber optik tidak memancarkan dengan pasti frekuensi tunggal tetapi menyebarkan pita sempit dari frekuensi. Laser mempunyai lebar garis yang lebih sempit dari pada LED yang menghasilkan sedikit dispersi intramodal atau chromatic dari pada LED. Jika sumber cahaya dapat memancarkan hanya sebuah frekuensi maka tidak akan terjadi dispersi. Total dari dispersi serat optik merupakan jumlahan dari tiga komponen yaitu :

1. *Dispersi modal*

Dispersi modal hanya bergantung pada dimensi dari serat optik terutama diameter inti.

2. *Dispersi material*

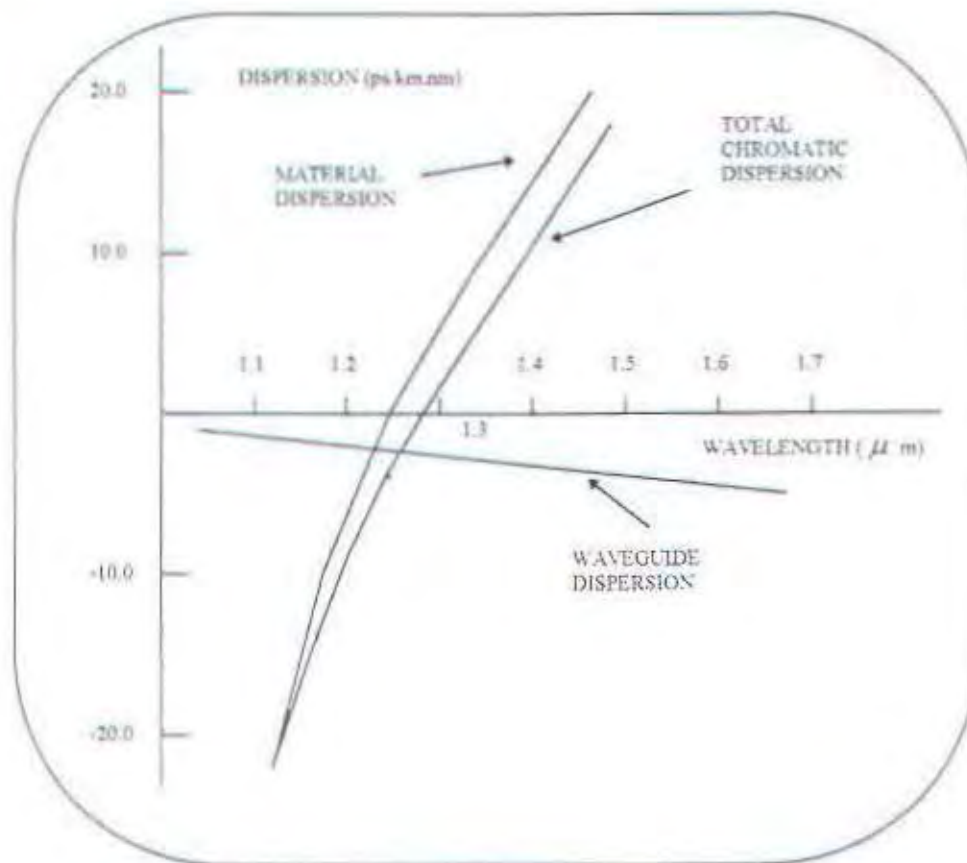
Ini dikarenakan frekuensi bergantung pada indeks refraksi dari material serat optik. Untuk silika, dispersi material jatuh sampai ke nol pada 1300 nm dan memiliki redaman sekitar 0.35 dB / km yang merupakan bukan redaman panjang gelombang yang minimum, maka teknik penggeseran dispersi dipergunakan untuk membuat bahan untuk dispersi material yang nol pada redaman terendah dari panjang gelombang 1550 nm

3. *Dispersi waveguide*

Dispersi waveguide merupakan bentuk lain dari dispersi yang dibandingkan dengan dispersi material (sekitar 0.1 sampai dengan 0.2 ns/km) yang umumnya diabaikan dalam

¹¹ Robert G. Winch, 'Telecommunication Transmission System', McGraw-Hill, Inc., Singapore 1993, hal 301

serat optik multimode. Sedangkan untuk serat optik single-mode dispersi waveguide merupakan hal yang penting.



Gambar 2.7¹² Dispersi waveguide dan dispersi material pada serat optik single mode

Panjang gelombang dengan dispersi nol menggeser dari 1.26 sampai 1.30 μm . Dengan pemodifikasian indek bias serat optik menggunakan teknik pabrikasi yang tepat untuk mempengaruhi karakteristik dispersi waveguide, serat optik dapat didesain untuk mempunyai panjang gelombang dengan dispersi nol dengan menggeser ke rugi-rugi yang lebih rendah dari panjang gelombang 1550 nm.

¹² Ibid hal 298

Toleransi pembuatan akan menyebabkan sebuah serat optik mempunyai sedikit dispersi bahkan pada harga nol. Sebagai contoh pada panjang gelombang 1550 nm zero dispersion shifted akan secara khas memiliki harga lebih rendah dari 3 ps/nm.km. Gambar diatas menunjukkan bagaimana dispersi waveguide menggabung dengan dispersi material untuk menggeser kurva dispersi chromatic total.

2.7 Komponen Optik

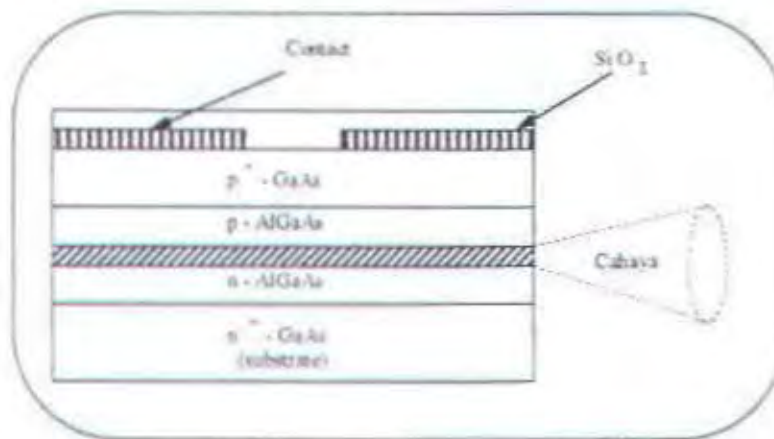
2.7.1 Sumber Optik

Dua sumber cahaya yang saat ini sering digunakan adalah LED dan Laser Diode (LD). Kedua peralatan tersebut memiliki dimensi fisik yang kecil, sehingga membuat LED dan LD cocok untuk dipancarkan di fiber optik. Seperti halnya pada dioda, LD dan LED merupakan *pn junction*.

Pemilihan LD atau LED untuk sistem transmisi optik tergantung pada faktor-faktor berikut : daya output yang dibutuhkan, efisiensi kopling, lebar spektrum, tipe modulasi, persyaratan kelinieran, bandwidth dan biaya.

2.7.1.1 Light Emitting Diode (LED)

Semikonduktor LED dapat digunakan pada mode *surface emitting* atau *edge emitting* tergantung pada tipe pembuatan. Mode *surface emitting* mempunyai kestabilan temperatur yang baik dan biaya yang rendah. Tetapi efisiensi kopling dalam fiber dibatasi oleh luas area aktifnya sendiri. Daya cahaya dikopel kedalam fiber biasanya lebih kecil dari 100 mikroWatt untuk multimode dan hanya beberapa mikrowatt untuk singlemode, serta daya cahaya keluaran tidak koheren. Laju bit operasional dibatasi beberapa ratus megabit perdetik oleh parasitic capacitance dalam LED.



Gambar 2.8¹³ Edge emitting LED dengan double-heterostructure

LED tipe *edge emitting* mempunyai penampilan yang lebih baik dibandingkan dengan tipe *surface emitting*. Struktur dapat menerima efisiensi kopling yang lebih tinggi ke dalam serat optik singlemode dan aktif layer yang lebih sempit dibandingkan tipe *surface emitting* yang mempunyai kapasitas yang lebih kecil, yang mengoperasikan laju bit yang lebih tinggi.

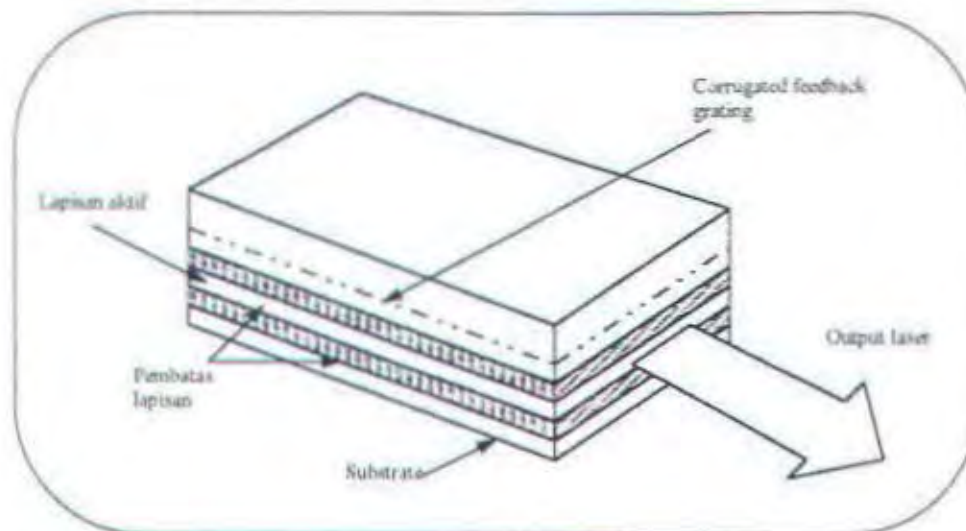
Untuk LED dalam menerima jarak transmisi yang dapat diterima (lebih dari 10 km) pada laju bit tinggi (lebih dari 565 Mb/s), serat optik single mode beroperasi pada panjang gelombang dispersi nol harus digunakan. Operasi serat optik dengan menggunakan multimode akan mengurangi hasil jarak laju bit.

2.7.1.2 Laser Diode (LD)

Perkembangan LD adalah dengan semakin bertambahnya kemampuan jarak dari telekomunikasi optik. Ada dua tipe dari Laser Dioda yakni : Fabry Perot dan Distributed Feedback (DFB). Pembuatan dari LD sama dengan LED, perbedaan utama dimana layer

¹³ Govind. Op. Cit. Hal. 92

aktif ditanamkan pada resonator optik. Resonator Fabry Perot dibentuk dari dua end-surface yang berlawanan dari kristal laser.



Gambar 2.9¹⁴ Struktur dari laser dioda DFB (distributud feedback)

Keluaran spektrum LD Fabry Perot mempunyai jumlah garis spektrum yang berjarak antara 0.1 dan 1.0 nm pada panjang gelombang optik dan tersebar melewati sebuah spektrum sekitar 1 sampai 5 nm yang berhubungan dengan jangkauan frekuensi dari 176 sampai 884 GHz. Untuk LD Fabry Perot linewidth (ω) sekitar 2 nm yang pada frekuensi akan sama pada 350 GHz pada pusat panjang gelombang dari $1.3 \mu\text{m}$. Lebar dari output spektrum LD Fabry Perot lebih sempit dari pada 40 nm linewidth dari LED.

LD Distributed Feedback menyediakan keluaran daya spektrum yang mempunyai sebuah garis tunggal sempit lebih kecil dari 1 MHz pada lebarnya. Peralatan dengan linewidth yang demikian sempit mentransmisikan pada laju bit yang tinggi (lebih dari 10 Gb/s).

Perbedaan sumber LD dan LED

¹⁴ Gerd Keiser. Op. Cit. hal. 157

Keunggulan LED bila dibandingkan dengan LD

- Keandalan yang lebih tinggi
- Rangkaian driver yang lebih sederhana
- Sensitivitas temperatur yang lebih rendah
- Kebal terhadap pantulan cahaya
- Biaya rendah

Karakteristik ini membuat LED cocok untuk aplikasi dengan jarak pendek sampai menengah misalnya pada LAN dan loop pelanggan dimana segi ekonomi merupakan faktor yang sangat penting.

Bila LD dibandingkan dengan LED mempunyai beberapa keuntungan antara lain :

- Daya output yang besar
- Kopling efisiensi yang tinggi
- Bandwidth yang lebar
- Spektrum yang sempit

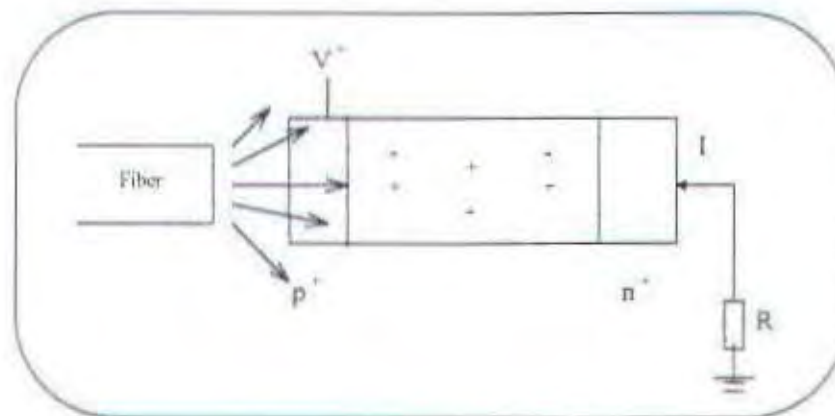
LD memiliki linewidth yang lebih sempit, laju bit yang tinggi yang dapat ditransmisikan dan jarak transmisi yang jauh. Satu kerugian dari LD adalah temperatur yang tinggi, tergantung pada daya output serta lebih kompleks sehingga lebih mahal dari LED.

2.7.2 Detektor optik

Cahaya yang dipancarkan dari ujung link serat optik harus dideteksi dan dikonversikan kedalam pulsa-pulsa elektronik untuk pemrosesan lebih jauh sehingga informasi yang ditransmisikan dapat diterima. Ada dua tipe dari detektor yaitu APD dan Dioda PIN.

2.7.2.1 Avalanche Photodiode (APD)

APD merupakan sebuah struktur dioda semikonduktor mempunyai sebuah daerah dope p^+ , diikuti sebuah daerah dope n , diikuti pula dengan daerah dope n^+ . Dioda secara negatif dibias dengan sebuah tegangan sekitar 100 V, ketika cahaya dari sebuah fiber datang pada dioda ini, pasangan hole elektron dibangkitkan. Jika daerah elektrektrik diterapkan cukup kuat, elektron bebas diakselerasi membangkitkan pasangan hole elektron baru dan proses berkelipatan berlanjut, menghasilkan efek avalanche.



Gambar 2.10¹³ Avalanche photodiode

Untuk tiap-tiap photon yang datang, banyak pasangan hole elektron dibangkitkan. Karena faktor penguatan meningkat, S/N menurun maka faktor penguatan yang dipilih tidak terlalu tinggi. Harga tipikal dari faktor penguatan untuk operasi noise rendah adalah 10 sampai 20 (10 sampai 13 dB), menggunakan bias balik dari beberapa puluh volt sampai 100 V.

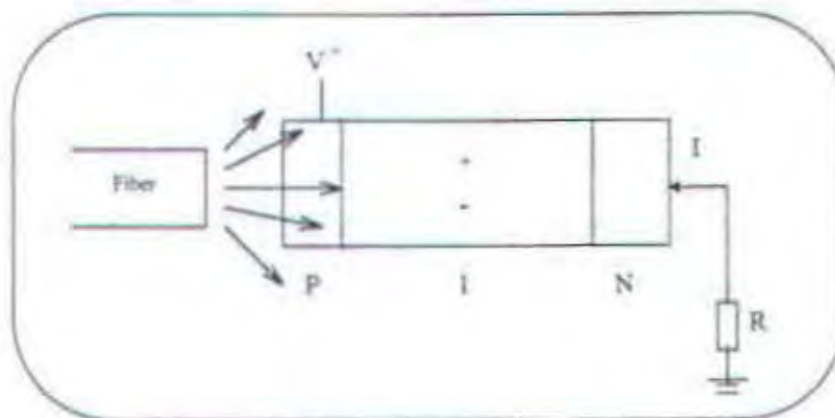
Karakteristik penampilan yang paling penting dari detektor optik dalam membentuk penerima dari sistem transmisi optik adalah sensitivitas penerima itu sendiri

¹³ Robert G. Winch, 'Telecommunication Transmission Systems', McGraw-Hill, Singapore 1993, hal. 331

Ini didefinisikan sebagai daya minimum yang diterima yang akan menghasilkan BER 10^{-9} pada laju bit tertentu.

2.7.2.2 PIN Dioda

Seperti digambarkan pada gambar berikut, peralatan pada dasarnya sebuah *pn* junction dengan menghalangi daerah intrinsik yang biasanya dikenal sebagai lapisan deplesi pengisi. Ketika cahaya dari serat optik datang pada daerah *p* dari dioda bias balik, pasangan lubang elektron dibangkitkan pada lapisan deplesi. Medan listrik menyebabkan elektron-elektron dan lubang-lubang untuk berjalan kearah berlawanan dan menghasilkan arus kecil. Dimensi dari daerah deplesi dapat dipilih sehingga peralatan mempunyai sensitivitas yang bagus dan waktu bangkit yang pendek.



Gambar 2.11¹⁵ PIN photodiode

Jika ketebalan dari daerah deplesi meningkat, sensitivitas meningkat karena probabilitas yang lebih tinggi dari penyerapan photon, tetapi ini menyebabkan waktu perjalanan dari charge carrier meningkat, mengurangi operasi frekuensi atas. Dioda PIN beroperasi dengan bias balik yang kecil dan oleh karena itu tidak berisi penguatan seperti

¹⁵ Ibid. hal. 333

pada kasus peralatan avalanche. Harga maksimum yang mungkin dapat dicapai adalah dioda PIN dapat melakukan dengan kemampuan yang baik dengan kelebihan 10 GHz. Ini berarti bahwa supaya dapat keuntungan dari karakteristik band yang lebar, sebuah low amplifier harus ditempatkan setelah dioda PIN.

2.8 Rugi-rugi Pada Serat Optik

Salah satu parameter yang harus diperhitungkan dengan cermat dalam sistem komunikasi serat optik adalah rugi-rugi pada serat optik. Dalam perencanaan jaringan berbasis serat optik, jumlah rugi-rugi yang ditimbulkan baik oleh serat optik itu sendiri atau komponen lainnya tidak boleh melebihi power budget yang tersedia antara pengirim dan penerima. Rugi-rugi merupakan salah satu parameter optik yang sangat penting dalam desain jaringan kabel serat optik. Secara umum, rugi-rugi pada serat optik dapat dibedakan menjadi dua :

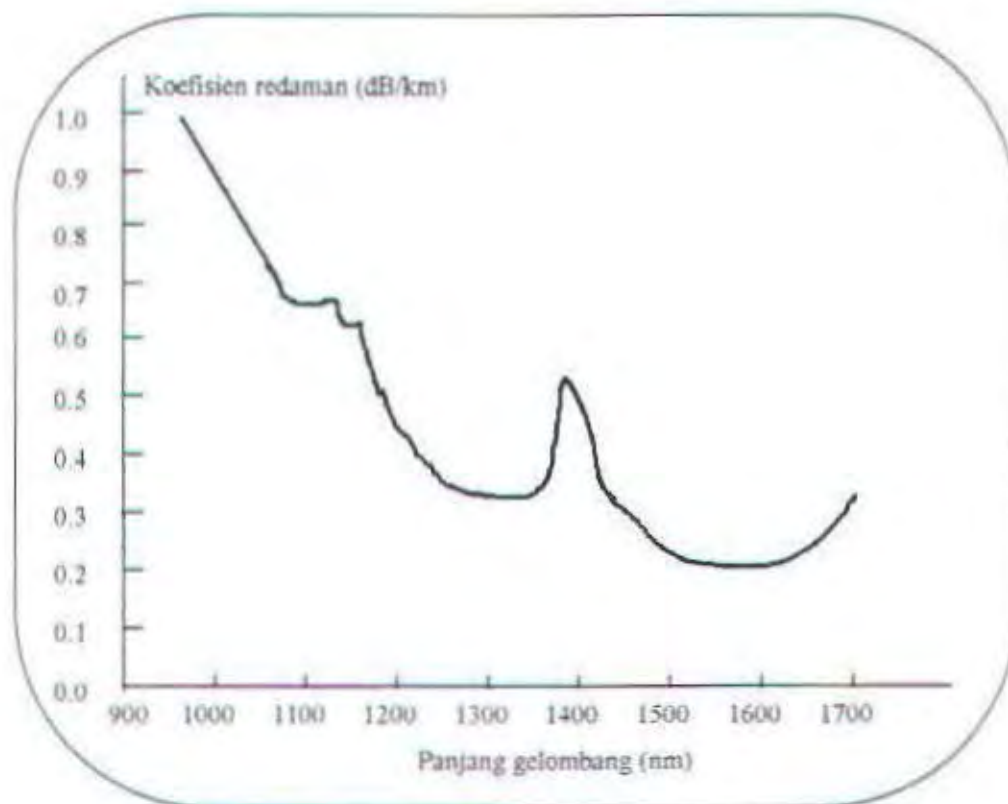
- Rugi-rugi karena bahan serat optik
- Rugi-rugi sebagai akibat digunakannya serat optik sebagai media transmisi.

2.8.1. Rugi-rugi Karena Bahan Serat Optik

2.8.1.1 Rugi-rugi Penyerapan (absorpsi)

Rugi-rugi penyerapan kotoran terjadi karena transisi elektronik antara level-level energi digabungkan dengan ketidaklengkapan dari bagian dalam dari kulit ion atau perubahan transisi dari satu ion ke ion yang lainnya. Penyerapan intrinsik dihasilkan dari pita penyerapan elektronik pada daerah ultraviolet dan dari pita vibrasi atom pada daerah dekat infra red. Pita penyerapan elektronik digabungkan dengan celah pita dari material gelas. Penyerapan terjadi ketika sebuah photon berinteraksi dengan sebuah elektron di

pita valensi dan mengejutkannya ke level energi yang lebih tinggi. Rugi-rugi akibat penyerapan pada ion-ion kotoran tersebut diatas dapat diperkecil dengan menjaga kebersihan serta kemurnian bahan gelas yang akan dibuat menjadi serat optik.



Gambar 2.12¹⁷ Karakteristik redaman serat optik

2.8.1.2 Rugi-rugi Rayleigh Scattering

Penghamburan Rayleigh terjadi sebagai akibat tidak homogenya indeks bias pada inti serat optik. Jika pada inti serat optik mengalami perubahan indeks bias yang lebih pendek dari pada panjang gelombang cahaya yang dirambatkan, maka akan terjadi hamburan. Rugi-rugi (redaman) sebagai akibat karakteristik bahan serat optik dinyatakan dalam dB/km. Besarnya redaman serat optik juga tergantung pada panjang gelombang

¹⁷ Robert G. Winch Op. Cit hal. 298

sinar yang digunakan. Penghamburan Rayleigh lebih dominan pada panjang gelombang yang pendek (dibawah 1000 nm).

Penyerapan lebih dominan untuk panjang gelombang diatas 1600 nm. Disamping itu terdapat tiga daerah di mana redaman meningkat dengan pesat. Daerah ini disebut sebagai OH peak dan disebabkan karena adanya interaksi antara cahaya dengan atom-atom air yang masih ada dalam bahan gelas.

Cahaya dengan panjang gelombang tertentu akan mengakibatkan osilasi pada atom-atom air yang menyerap energi sehingga meningkatkan redaman serat optik pada panjang gelombang tersebut. Dari gambar dibedakan tiga daerah dimana redamannya minimum. Daerah itu disebut dengan windows dari serat optik. Window pertama berada diantara 800 nm dan 900 nm, window kedua berada disekitar 1350 nm dan window ketiga berada disekitar 1600 nm.

2.8.2 Rugi-rugi Sebagai Media Transmisi

Pada serat optik rugi-rugi cahaya sistem terjadi pada tiga sambungan optik antara lain sambungan dari sumber ke serat optik, dari serat optik ke serat optik dan dari serat optik ke photodetektor.

2.8.2.1 Rugi-rugi karena penyambungan

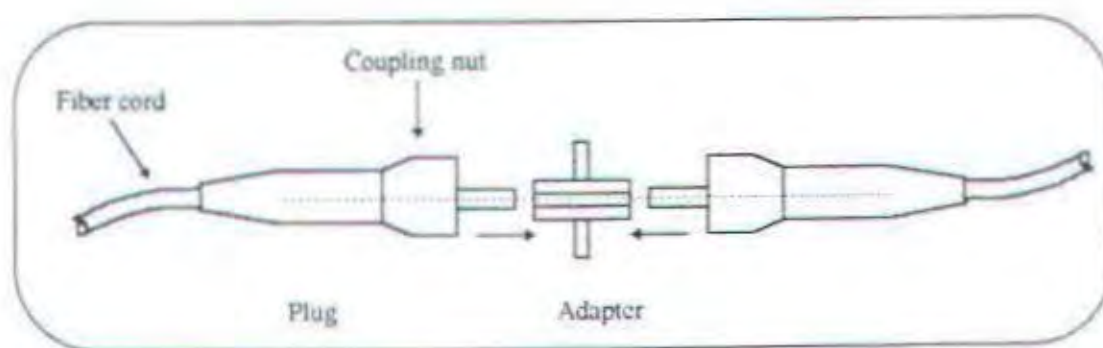
Kabel serat optik biasanya dibuat dengan panjang antara 1 hingga 5 km. Untuk mendapatkan panjang yang dibutuhkan, seringkali harus dilakukan penyambungan baik dengan menggunakan fusion splice maupun dengan konektor. Tergantung pada teknik penyambungan yang digunakan, tiap sambungan akan memberikan tambahan redaman umumnya sekitar 0.1 hingga 0.5 dB.

2.8.2.1.1 Rugi-rugi Splice

Rugi-rugi splice ini ditimbulkan sebagai akibat tidak sempurnanya kegiatan penyambungan sehingga sinar dari serat optik yang satu tidak dapat dirambatkan seluruhnya ke dalam serat yang lainnya. Beberapa kesalahan penyambungan yang menimbulkan rugi-rugi: sambungan kedua serat optik membentuk sudut, sumbu kedua serat optik tidak sejajar, sumbu kedua serat optik berimpit namun masih ada celah diantaranya, ada perbedaan ukuran antara kedua serat optik yang disambung.

2.8.2.1.2 Rugi-rugi Konektor

Sebuah konektor untuk serat optik merupakan peralatan penyambung yang menjamin efisiensi coupling antara ujung-ujung serat optik. Pada saat penggunaan konektor dalam kegiatan penyambungan, ditimbulkan rugi-rugi sebagai akibat adanya celah diantara ujung-ujung konektor. Celah tersebut mengakibatkan sebagian dari sinar yang datang dipantulkan kembali atau keluar serat optik. Biasanya untuk konektor memiliki rugi-rugi sekitar 0,3 dB.



Gambar 2.13¹⁸ Konfigurasi konektor plug-adaptor-plug

¹⁸ Frederick C. Allard Op. Cit hal 3.32

2.8.2.2 Rugi-rugi Pelengkungan

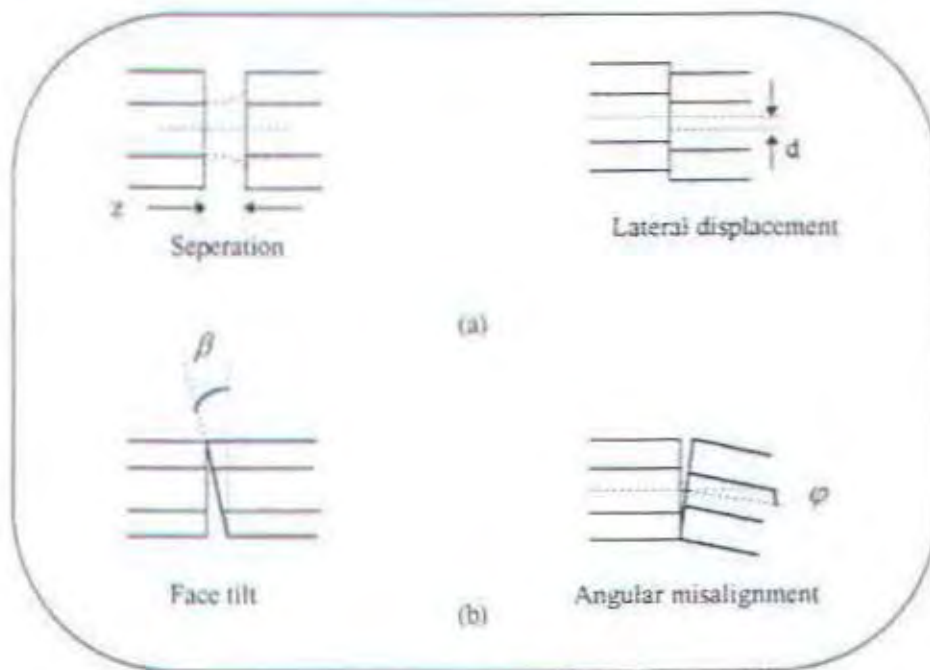
Rugi-rugi ini terjadi pada saat sinar melalui serat optik yang dilengkungkan. Pada titik pelengkungan, sudut datang sinar menjadi lebih kecil daripada sudut kritis sehingga sinar tidak dipantulkan sempurna melainkan dibiaskan keluar. Jenis pelengkungan dibedakan menjadi dua yaitu *microbending* dan *macrobending*.

Microbending adalah pelengkungan dalam skala mikro yang diakibatkan oleh tekanan yang tidak merata pada serat optik selama proses pabrikasi atau kegiatan instalasi. *Microbending* akan menyebabkan ketidaksempurnaan permukaan pantul serat optik sehingga sebagian sinar akan dibiaskan keluar serat. *Macrobending* adalah pelengkungan serat optik sebagai akibat kegiatan instalasi/ pemasangan serat optik. Radius bending minimum serat optik distandarkan sebesar 20 kali diameter luar dari serat optik.

2.8.2.3 Rugi-rugi Coupling

Rugi-rugi ini timbul pada saat serat optik dikopel / disambungkan dengan sumber cahaya atau photo detector. Rugi-rugi coupling terjadi karena tidak seluruh energi yang dipancarkan oleh sumber cahaya bisa dimasukkan ke dalam optik. Ada beberapa penyebab penurunan efisiensi coupling antara dua serat optik. Diantaranya refleksi pada antar muka gelas-udara, alignment error, kualitas yang rendah pada ujung serat optik dan ketidaksesuaian antara parameter serat optik yang disambungkan.

Rugi-rugi coupling dapat diperkecil dengan penambahan lensa didepan sumber cahaya atau pembentukan permukaan tertentu (misalnya *spherical-surface*) pada sumber cahaya atau ujung fiber. Dengan metode tersebut efisiensi coupling dapat ditingkatkan antara 50 sampai 80 persen.



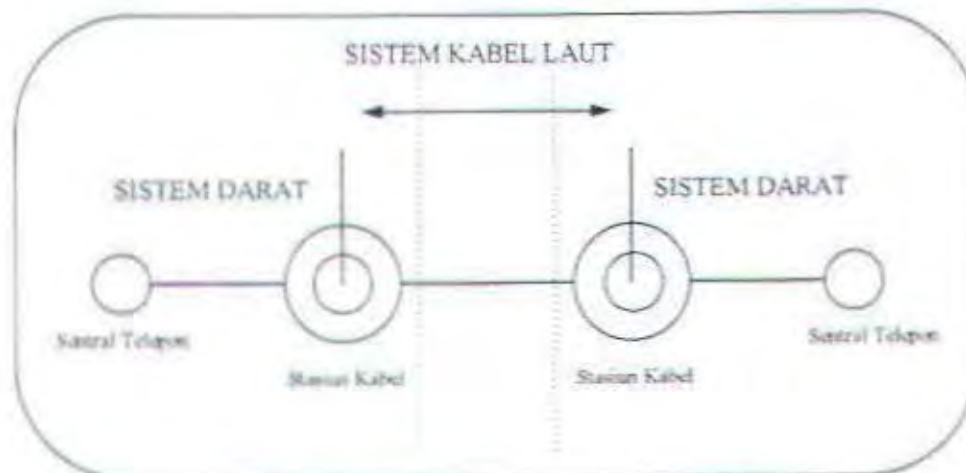
Gambar 2.14¹⁹ (a) Ketidaklurusan sambungan (b) Contoh dari ketidaktepatan persiapan ujung yang menyebabkan rugi-rugi coupling ekstrinsik.

¹⁹ Ibid hal. 3:3

BAB III

SISTEM KOMUNIKASI KABEL LAUT SERAT OPTIK

Untuk sistem komunikasi yang menggunakan transmisi jarak jauh selain dari penggunaan teknologi sistem komunikasi satelit juga digunakan teknologi Sistem Komunikasi Kabel Laut (SKKL) yang keduanya saling melengkapi dan menunjang. SKKL secara keseluruhan terdiri dari Sistem Utama (Main System) atau disebut juga dengan Sistem Kabel Laut (Submarine Cable System) dan Sistem Jaringan Ekor (Tail Link System) atau disebut juga dengan Sistem Darat (Inland System). Konfigurasi secara umum dari SKKL dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 3.1²⁰ Konfigurasi umum SKKL

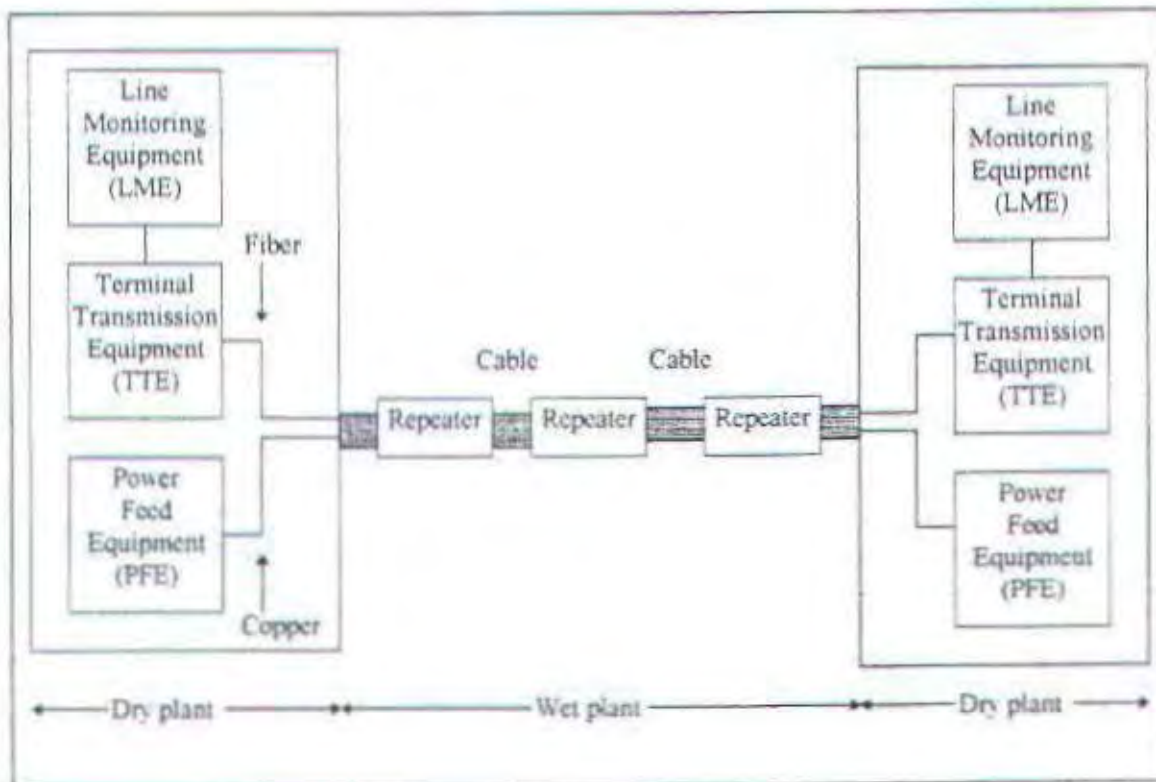
Pada sistem darat jaringan ini dapat berupa jaringan gelombang mikro, jaringan kabel koaxial maupun jaringan serat optik yang menghubungkan Stasiun Terminal Sistem Kabel Laut dengan Sentral Telepon dari jaringan telekomunikasi yang ada di

²⁰PERUMTEL, Sistem Komunikasi Kabel Laut ASEAN Indonesia - Singapura, Departemen Perhubungan - Direktorat Jenderal Pos Dan Telekomunikasi, Jakarta, 1980, hal 4.

darat dan berfungsi sebagai sistem penunjang. Sistem Kabel Laut merupakan bagian utama dari SKKL yang terdiri dari peralatan terminal di kedua ujung sistem dan peralatan bawah laut.

3.1 Konfigurasi Sistem

Pada dasarnya konfigurasi SKKL Serat Optik terdiri dari dua bagian peralatan yang utama yaitu peralatan terminal (dry plant) dan (wet plant) peralatan bawah laut.



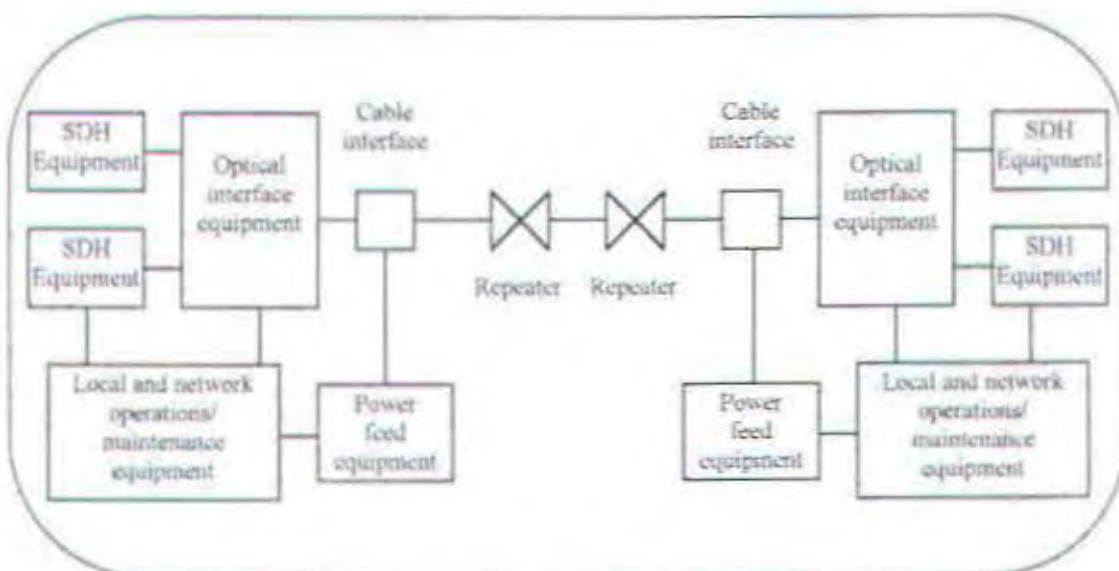
Gambar 3.2²¹ Sistem bawah laut berepeater

Komponen pembentuk peralatan terminal (dry plant) terdiri dari terminal transmisi equipment (TTE), line monitoring equipment (LME) dan power feeding

²¹ AT&T Technical Journal, Undersea Optically Amplified Repeatered Technology, Product, and Challenges, January/February 1995, Volume 74, hal 35.

equipment (PFE) atau peralatan pencatu daya untuk repeater. TTE menyediakan antarmuka (interface) antara *dry plant* yang berupa jaringan komunikasi di pedalaman dengan *wet plant* yang merupakan hubungan transmisi bawah laut. Sedangkan LME merupakan bagian dari LMS (Line Monitoring System) yang tetap mengawasi kesehatan hubungan bawah laut dan menemukan kesalahan, membantu perawatan *wet plant*. PFE memberikan energi ke link, menyediakan daya ke repeater.

Komponen *wet plant* terdiri dari kabel media transmisi serat optik dan repeater yang berisi penguat optik yang mengkompensasi redaman dalam kabel serat optik. Kabelnya juga berisi konduktor tembaga untuk membawa daya listrik ke repeater. Komponen yang lain dari *wet plant* adalah branching unit (BU) yang menyediakan untuk fleksibilitas yang lebih besar pada arsitektur jaringan bawah laut dengan membolehkan trafik untuk dibagi atau disambungkan ke titik pendaratan.



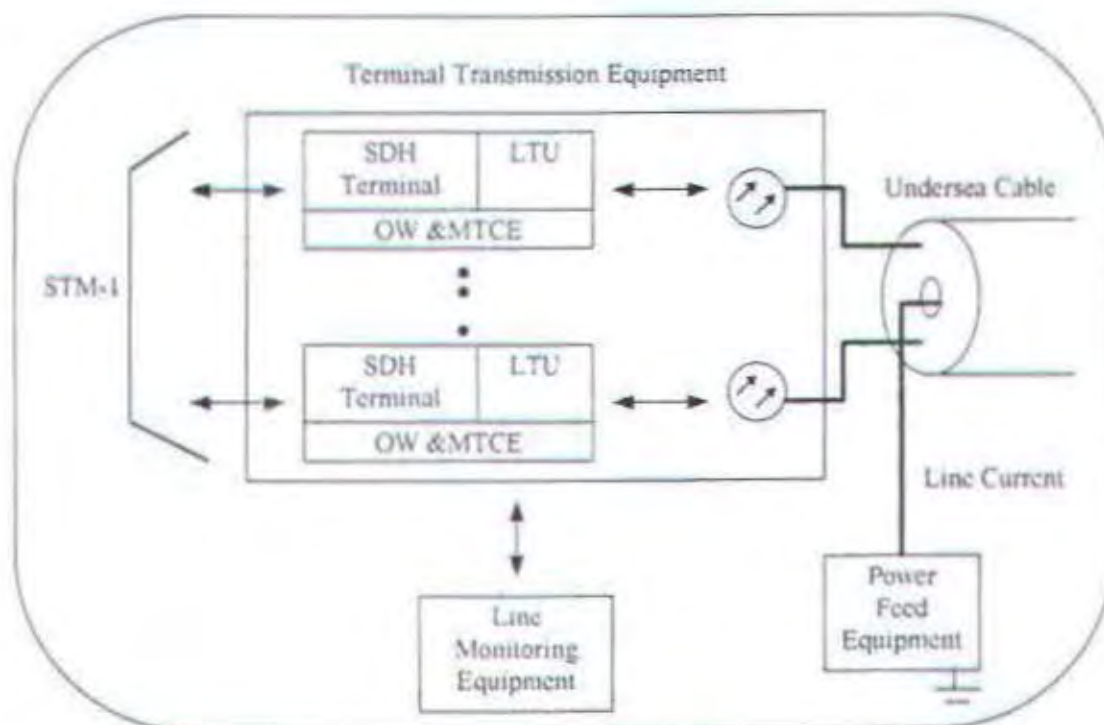
Gambar 3.3²² Blok sistem berepeater point-to-point

²² Ibid, hal 23

3.2 Terminal Transmission Equipment (TTE)

TTE mempunyai fungsi utama sebagai peralatan sinyal multiplexing - demultiplexing, modulasi - demodulasi, konversi pengkodean saluran transmisi dari sistem darat ke sistem kabel laut, penambahan bit parity sebagai sinyal pengawasan unjuk kerja peralatan repeater, konversi sinyal elektrik ke sinyal optik dan sebaliknya sedangkan fungsi lainnya sebagai antarmuka yang menghubungkan sistem komunikasi darat dengan sistem komunikasi kabel laut

Sedangkan elemen - elemen dasar terminal transmission equipment adalah peralatan synchronous digital hierarchy (SDH) multiplex / demultiplex, line terminating equipment, order wire equipment, switch dan bridge, dan circuitry pemantauan dan kontrol.



Gambar 3.4²³ Blok Diagram Stasiun Terminal

²³ PT Telekomunikasi, Technical Seminar, Bandung, 19-20 July 1995, hal 25.

TTE yang digunakan dalam SKKL Surabaya - Ujung Pandang - Banjarmasin terdiri dari 5G Line Terminating Equipment (5 G LTE), STM - 16 Multiplex Equipment (STM - 16 MUX) dan STM - 1 Multiplex Equipment (STM - 1 MUX) yang mempunyai fungsi sebagai berikut :

- a. 5G LTE melakukan fungsi bit interleaving dan de-bit interleaving untuk menyusun sinyal 2 x STM - 16 kedalam sebuah 5 Gbit/s (Pseudo STM - 32) untuk transmisi pada sistem.
- b. STM - 16 melakukan fungsi multiplex add / drop antara level STM - 16 dan STM - 1 dalam sinyal hirarki SDH. STM - 16 juga menyediakan fungsi jaringan pelindung (network protection) menggunakan sepasang serat optik kedua sebagai jalur proteksi. Proteksi ini mengijinkan konfigurasi tunggal LTE tanpa berkompromi dengan keandalan sistem.
- c. STM - 1 MUX melakukan fungsi multiplexing dan demultiplexing antara STM - 1 dan level sinyal 2 Mbit/s untuk hubungan dengan exchange yang disyaratkan.

3.2.1 Line Terminating Equipment

Merupakan sebuah adapter yang menghubungkan peralatan standar teresterial multiplex / demultiplex ke kabel bawah laut. Pada sisi teresterial, LTU menyediakan interface standar SDH untuk peralatan multiplexing. Pada sisi kabel bawah laut menyediakan interface yang cocok dengan kebutuhan khusus dari transmisi bawah laut jarak jauh.

Arsitektur 5 Gbit/s LTU (Line Terminal Unit)

LTU terdiri dari dua fungsi dasar dan bebas yaitu transmitter LTU dan receiver LTU. Transmitter LTU menggabungkan dua aliran data optik SDH STM-16 dan menghasilkan

sebuah aliran data optik 5 Gbit/s tunggal yang cocok dengan kabel bawah laut. Sedangkan receiver LTU mendeteksi aliran data optik 5 Gbit/s dari kabel bawah laut dan membaginya ke dalam dua aliran data optik STM-16. Transmitter dan receiver LTU mempunyai gambaran khusus yang mengoptimalkan kinerja dari keseluruhan sistem transmisi dan keduanya menggabungkan teknologi mutakhir.

Transmitter 5 Gbit/s LTU

Pada ujung sistem bawah laut, transmitter 5 Gbit/s LTU menyediakan dua interface optik STM-16 untuk peralatan multiplexing pada terminal transmision equipment. Aliran data optik ini dideteksi oleh receiver SDH yang mengubahnya kedalam aliran data elektrik. Aliran data elektrik diencode pada sistem menggunakan forward error corection (FEC) dan secara elastik disimpan untuk menjaga agar stabil, data phasealigned 2,5 Gbit/s ke sebuah multiplexer. Multiplexer meng- bit-interleave dua 2,5 Gbit/s aliran data untuk menghasilkan sebuah 5 Gbit/s aliran data elektrik.

Data elektrik 5 Gbit/s mengemudikan sebuah pemancar yang mengubah data kembali ke sinyal optik. Sinyal optik ini kemudian lewat melalui peralatan pengatur polarisasi dan masuk ke dalam sebuah optical boost amplifier. Amplifier menyediakan level daya yang dibutuhkan kabel bawah laut.

Receiver 5 Gbit/s LTU

Receiver LTU mengakhirkan jalur transmisi bawah laut, menyediakan receiver 5 Gbit/s untuk sisi bawah laut dan dua STM -16 keluaran optik untuk peralatan demultiplexing pada TTE. Data optik dari sistem bawah laut dikuatkan melalui preamplifier optik, difilter dan dideteksi penerima yang mengubah dan mengde-interleave sinyal optik ke dalam dua 2,5 Gbit/s aliran data elektrik. Dua aliran ini dikodekan (dalam sistem FEC) dan diubah kembali ke dalam STM-16 aliran data optik oleh pemancar SDH.

Order wire equipment

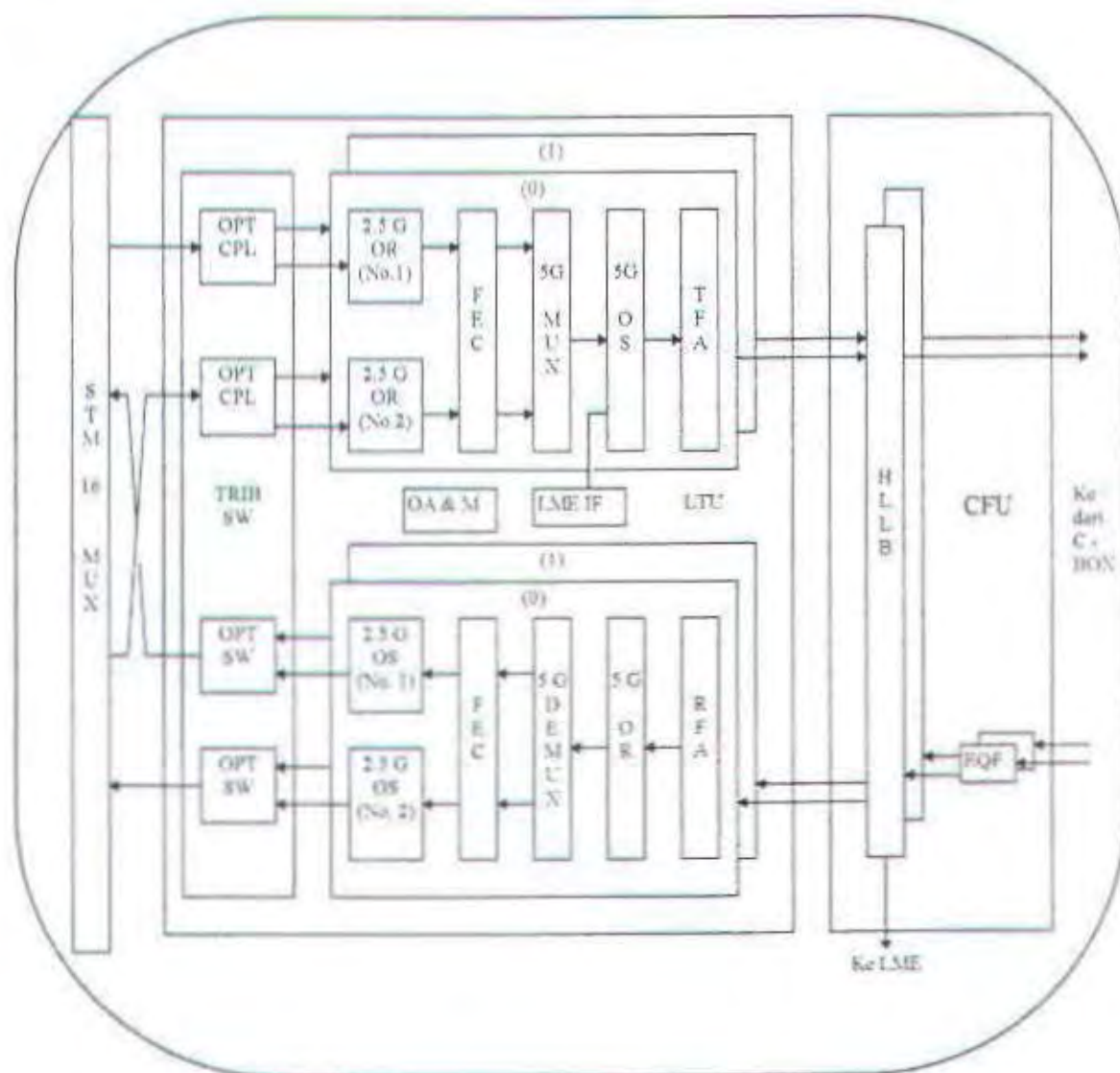
Kanal orderwire merupakan kanal suara dan data digunakan sistem engineering, instalasi dan perawatan personal untuk telemetri atau pembicaraan antara jaringan stasiun yang berbeda dan pusat kontrol operasi. Rangkaian ini digunakan untuk koordinasi sistem, kontrol dan pelaporan. Kanal order wire dibawa antara titik-titik di seksi overhead dari frame struktur SDH atau frame forward error correction. Seperti pada unit multiplex / demultiplex SDH.

Switch dan Bridge Redundancy

Peralatan berlebih-lebihan (redundancy) yang mengarah ke level yang sangat tinggi dari keandalan sistem merupakan sebuah atribut yang penting dari peralatan gelombang cahaya bawah laut. Dengan dual jalur arsitektur dari terminal berlebih-lebihan gelombang cahaya bawah laut, sinyal lewat melalui peralatan di tributary-to-line yang lain (multiplex) atau line-to-tributary (demultiplex) melalui jalur peralatan yang diduplikat. Sinyal input dibagi (bridge) dan mengalir secara terus-menerus melalui kedua jalur ketika output diswitch dan sinyal dari jalur satu atau yang lainnya dipancarkan pada sebuah tributary atau kabel bawah laut. Arsitektur seperti itu umumnya dikenal sebagai "1+1" proteksi peralatan. Beberapa sistem arsitektur menggunakan jalur kabel berkelipatan antara stasiun-stasiun untuk mencapai peningkatan keandalan sistem dan kemampuan untuk memperbaiki trafik. Satu arsitektur seperti itu menggunakan dari struktur ring dengan peralatan multiplex SDH add-drop diluar dari peralatan terminal. Pada struktur ring, input tributary merupakan sinyal STM optik. Seperti yang ditunjukkan dalam sebuah sistem 5 Gbit/s, terdapat dua input tributary STM-16 yang merupakan bit interleaved untuk membentuk 5 Gbit/s jalur sinyal yang dipancarkan pada kabel bawah laut.

3.2.1.1 Konfigurasi LTE

LTE terdiri dari sebuah Line Terminating Unit (LTU) dan sebuah Common Function Unit (CFU) yang dapat melewati dua kabel laut. Dalam CFU terdapat rak EQBL yang berisi empat set rangkaian High Loss Loop Back (HLLB) dan dispersi kompensasi serat optik agar membatalkan dispersi yang terakumulasi dalam peralatan laut.



Gambar 3.5²⁴ Blok Diagram 5G LTE

²⁴ PT. Telekomunikasi Indonesia & KDD Submarine Cable System Inc. & Tomen Cooperation, 'Contract for Supply & Instalation Of Su-Uj-Bjm Optical Fiber Cable Transmission System', Volume 3, hal 11.5.

Sedangkan untuk LTU terdiri dari tiga bagian yaitu

1. Rak Optical Sender / Receiver (OTRX)

OTRX menerima sinyal-sinyal optik dari dua STM - 16 dan memultiplexkan kedalam sinyal tunggal 5.33211 Gbit/s dengan overhead bit digunakan untuk error correction oleh FEC. OTRX juga menerima sinyal tunggal 5.33211 Gbit/s dan mendemultiplexkan ke dalam dua sinyal STM - 16 setelah memindah overhead bit dari FEC. Sedangkan fungsi utamanya adalah sebagai berikut :

- i. Regenerasi dari sinyal optik STM - 16 ke sinyal elektrik STM - 16
- ii. Bit interleaving sinyal 2 encoded STM - 16 ke sinyal elektrik 5.33211 Gbit/s
- iii. Konversi dari sinyal elektrik 5.33211 Gbit/s ke sinyal optik 5.33211 Gbit/s
- iv. Regenerasi dari sinyal listrik 5.33211 Gbit/s ke sinyal optik 5.33211 Gbit/s
- v. De-interleaving dari sinyal elektrik 5.33211 Gbit/s sinyal 2 encoded STM - 16
- vi. Konversi dari sinyal elektrik STM - 16 ke sinyal optik STM - 16

2. FEC

FEC meng-encode / decode sinyal-sinyal STM - 16 oleh encoder / decoder FEC

3. Rak COM

Berisi Operation Administration & Maintenance (OA&M) yang mengadministrasi seluruh alarm. Serta mampu untuk memonitor hitungan error sebelum error correction ke penerimaan sinyal dari masing-masing tributary.

3.2.1.2 Forward Error Coding (FEC)

Forward error coding merupakan sebuah teknologi pengkodean data yang merekonstruksi sekumpulan data bebas kesalahan dari sekumpulan data terkode dengan kerapatan rendah dari bit error. FEC digunakan dalam terminal menambahkan dimensi

yang penting untuk mendesain proses untuk sistem transmisi, mengijinkan pilihan untuk peningkatan unjuk kerja transmisi, pengurangan biaya sistem dan pelebaran jangkauan dari aplikasi yang mungkin untuk diberikan teknologi transmisi. Untuk terdistribusi acak, bit error yang bebas dan beberapa kelas dari burst error, aliran data terkode FEC dengan BER yang lebih kecil dari 10^{-4} dapat dikodekan kedalam aliran data pengguna dengan BER yang lebih kecil dari 10^{-14} . Kualitas sinyal pada regenerator penerima disyaratkan untuk menerima BER dibawah 10^{-4} adalah lebih dari 5 dB serta lebih kecil daripada yang dibutuhkan untuk mencapai BER lebih kecil dari 10^{-14} . Pada sistem transmisi menggunakan amplifier optik, kualitas sinyal optik pada terminal penerima dipengaruhi oleh seluruh komponen pada jalur optik. Oleh karena itu dB tambahan menghadirkan sebuah sumber yang dapat digunakan untuk mencapai unjuk kerja transmisi yang lebih baik, jarak repeater yang jauh (repeater yang lebih sedikit), panjang sistem yang lebih jauh dan peningkatan kapasitas transmisi.

3.3 Line Monitoring Equipment (LME)

Line monitoring equipment digunakan dalam pemantauan dan perawatan dari kabel bawah laut atau wet plant. Utamanya, LME melakukan rutin pemantauan in-service dari kabel dan repeater serta dapat melaporkan perubahan wet plant yang seharusnya terjadi. Sebagai tambahan, peralatan menyediakan kemampuan out of service fault location. LME merupakan bagian dari line monitoring system (LMS) yang menggunakan elemen-elemen pasif dalam untaian repeater untuk melakukan fungsi pemantauan.

Keadaan normal, kondisi fault-free, sistem didesain sehingga penguat repeater beroperasi dalam gain compression. Tiap-tiap titik operasi amplifier merupakan

sedemikian hingga gain mengkompensasi untuk rugi-rugi dari kabel. Sepanjang level sinyal pada input untuk setiap amplifier tetap konstan, gain dari masing-masing amplifier tetap konstan dan sistem adalah equilibrium. Jika level sinyal pada input sebuah amplifier menurun disebabkan antara lain penurunan atau kegagalan pompa dalam amplifier sebelumnya, penurunan splice, perbaikan atau beberapa penyebab yang lain, gain dari amplifier akan meningkat. Jika peningkatan gain tidak hemat untuk keseluruhan kompensasi untuk degradasi, level daya input pada amplifier yang berikut dalam sistem juga akan menjadi lebih rendah dari yang diutamakan pada sistem yang berubah dan gain dari amplifier juga akan meningkat. Gain meningkat akan terus-menerus dalam sebanyak amplifier dibutuhkan untuk memperbaiki sinyal input pada amplifier repeater yang berikutnya ke level equilibrium awal. Sama halnya, jika level daya sinyal pada input dari sebuah amplifier lebih tinggi dari level equilibrium, gain amplifier akan dikompres, bersamaan dengan gain yang mengikuti amplifier dibutuhkan untuk memperbaiki sinyal ke level equilibrium awal.

Pengukuran sistem menunjukkan bahwa jika amplifier yang berikut atau rentang kabel beroperasi dengan benar, daya sinyal input pada amplifier yang diberikan akan meningkat atau menurun dari nilai nominalnya pada kelebihan 6 dB tanpa pengaruh yang dapat diperhatikan pada kinerja sistem. Dalam suatu situasi, level sinyal kembali ke level operasi normal dengan dua atau tiga rentang amplifier kabel dan end-to-end unjuk kerja transmisi tidak terpengaruh.

LMS menggunakan repeater loopback coupler untuk membuat pengukuran wet plant loop gain, mencari berubahnya waktu yang berlebihan. Pengukuran loopback gain dibuat oleh LME. Peralatan memodulasi intensitas optik dari jalur sinyal terpancar oleh terminal LTU. Sinyal termodulasi merupakan gelombang 2 Mhz yang dimodulasi oleh

pola bit acak semu (pseudo-random bit pattern). Jalur loopback pada masing-masing repeater mengembalikan sebuah versi level rendah dari sinyal pemonitor terpancar ke LME dengan sebuah unique round-trip delay. Menggunakan teknik pemrosesan sinyal digital untuk menghubungkan masing-masing sinyal yang dikembalikan dengan sebuah versi penundaan dari sinyal terpancar acak-semu, gain dari masing-masing jalur loopback dapat diukur. Untuk pemantauan in-service, sebuah indeks modulasi dalam jangkauan dua sampai sepuluh persen digunakan. Untuk pengukuran out-of-service, 100 persen modulasi dapat digunakan untuk sebuah interval pengukuran yang lebih pendek.

Selain itu LME berfungsi pula untuk melakukan pengawasan dan pengukuran perubahan beda tegangan potensial tanah, arus balik, arus catu daya dan tegangan catu daya dilakukan terus menerus. Baik selama sistem beroperasi mengirimkan informasi dari salah satu sisi stasiun terminal, maupun sistem dalam kondisi tidak beroperasi mengirimkan informasi.

Apabila hasil pengawasan dan pengukuran yang dilakukan memberikan harga dibawah batas ambang yang telah disyaratkan, maka sistem berada dalam kondisi operasional tidak normal atau mengalami kerusakan yang harus segera diketahui penyebab dan lokasi terjadinya.

Untuk mengetahui dan menentukan letak kerusakan atau gangguan yang mungkin terjadi pada peralatan bawah laut. LME akan melakukan serangkaian pengujian, mencatat dan menentukan kerusakan atau kesalahan yang terjadi.

3.4.1 Peralatan Pengawas Repeater

Sistem pengawasan sangat dibutuhkan untuk mendapatkan keandalan tinggi pada sistem komunikasi jarak jauh dengan menggunakan repeater. Sistem pengawasan

berfungsi untuk mengontrol dan mengawasi unjuk kerja sistem secara keseluruhan meliputi peralatan terminal dan peralatan bawah laut. Pengawasan dan pengontrolan unjuk kerja peralatan bawah laut khususnya peralatan repeater dilakukan peralatan pengawas repeater atau Repeater Supervisory (RSE).

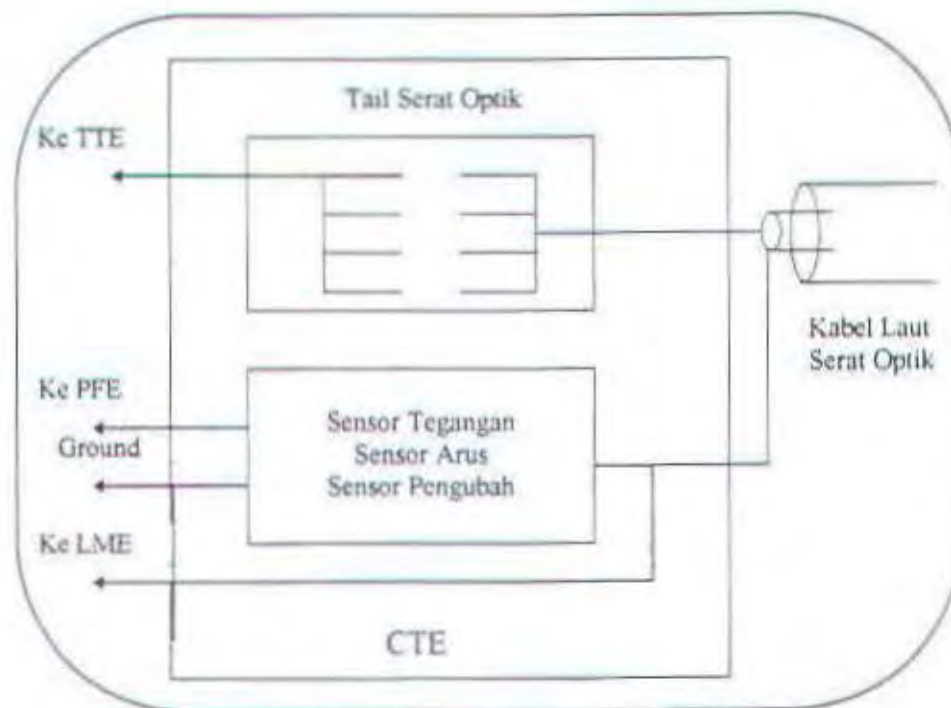
Peralatan RSE juga digunakan untuk mengontrol koordinasi operasi kerja hubungan sistem darat dengan sistem kabel laut. Untuk memudahkan pengawasan dilakukan terpusat dari kedua terminal. Secara garis besar operasional kerja serta fungsi peralatan RSE lebih dititik beratkan kepada pengawasan dan pengontrolan peralatan bawah laut khususnya operasional kerja peralatan repeater.

Pada SKKL Serat Optik pemisah kanal khusus yang digunakan sebagai sinyal pengawasan repeater tidak dapat dilakukan secara fisik. Untuk mengatasi hal ini sinyal pengawasan ditumpangkan pada kanal data utama yang dapat ditambahkan atau diekstraksi pada setiap repeater dengan menggunakan frekuensi pembawa yang dibedakan secara periodik antara parity gain dan parity genap pada blok data sistem. Sedangkan sinyal tanggapan pengawasan yang dikirimkan balik setiap peralatan repeater dilakukan dengan menggunakan modulasi fasa indeks rendah dari sinyal data stream.

3.4.2 Peralatan Terminal Kabel

Peralatan terminal kabel atau Cable Terminating Equipment (CTE) merupakan interface antara peralatan terminal dengan peralatan bawah laut yang berfungsi sebagai terminasi kabel laut. Fungsi utama peralatan CTE adalah sebagai peralatan pemisah kabel serat optik dengan kabel catu daya repeater yang berasal dari kabel laut. Untuk memisahkan kabel serat optik dan kabel catu daya repeater digunakan konektor pemisah.

Kabel serat optik yang telah dipisahkan akan dihubungkan ke peralatan terminal transmisi (TTE) dengan menggunakan konektor penyambungan optik berupa ekor babi (pig tail) serat optik. Sedangkan kabel catu daya repeater dihubungkan ke peralatan catu daya repeater (PFE) dengan menggunakan konektor penyambungan elektrik. Sedangkan fungsi dari CTE adalah untuk menangani konfigurasi peralatan bawah laut.



Gambar 3.6²⁵ Blok diagram peralatan CTE

Operasional kerja yang dilakukan peralatan CTE terhadap konfigurasi peralatan bawah laut antara lain ²⁶:

- Memisahkan kabel serat optik dengan kabel catu daya repeater yang berasal dari kabel laut.

²⁵ PT Telkom, Contract Surabaya - Banjarmasin Optical Fiber Submarine Cable Project Between Java Island and Kalimantan Island, Joint Operation of Toyo Menka Kaisha Ltd -PT Nusantara Submarine Cable Service - Sumitomo Corporation, Jakarta, 1989, hal 24.

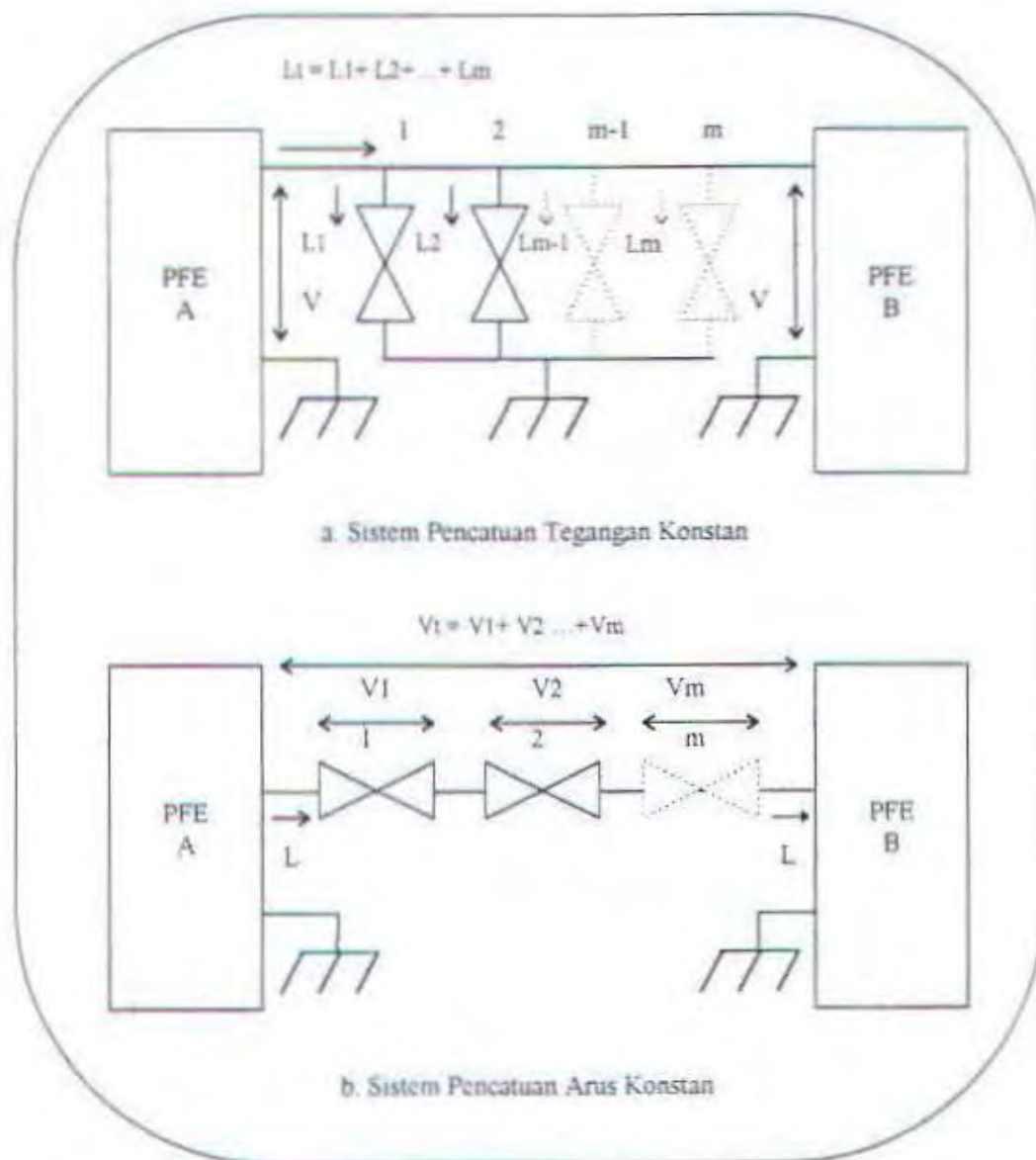
²⁶ Ibid, hal 28.

- ♦ Mengawasi dan mengukur perubahan beda tegangan potensial tanah dan arus balik sistem pencatutan daya repeater yang terjadi.
- ♦ Mengawasi dan mengukur besar arus dan tegangan catu daya repeater yang dicatukan peralatan PFE pada konfigurasi peralatan repeater.
- ♦ Melakukan proses looping pencatutan daya apabila konfigurasi sistem pencatutan daya repeater dari salah satu sisi terminal
- ♦ Mengawasi alarm kondisi operasional sistem abnormal dan melakukan tindakan pengamanan.

Peralatan CTE dapat langsung mengambil alih tindakan koreksi kerusakan, apabila kerusakan atau gangguan terjadi dengan segera dapat diatasi. Bila terjadi gangguan arus atau tegangan listrik pada sistem pencatutan daya repeater, maka peralatan CTE segera memutuskan hubungan arus catu daya repeater yang mengalir melalui kabel catu daya repeater. Kerusakan atau gangguan yang disebabkan terputusnya kabel laut, maka kerusakan yang tidak dapat dengan segera dapat diatasi oleh peralatan CTE. Koreksi kerusakan akibat terputusnya kabel laut membutuhkan koordinasi sistem secara keseluruhan terlebih dahulu.

3.4 Peralatan Catu Daya Repeater

Peralatan catu daya atau Power Feeding Equipment (PFE) berfungsi untuk mencatu konfigurasi peralatan repeater yang ditempatkan pada setiap sisi stasiun terminal. Kerumitan peralatan PFE tergantung pada jumlah peralatan repeater yang digunakan untuk keseluruhan sistem. Konfigurasi sistem catu daya repeater dapat dilakukan dengan dua metode yaitu pencatutan arus konstan secara seri dan pencatutan tegangan konstan secara paralel untuk setiap peralatan repeater.



Gambar 3.7²⁷ Konfigurasi sistem catu daya repeater

Sistem catu daya repeater menggunakan metode pencatutan arus konstan secara seri mengakibatkan total tegangan yang dibutuhkan sistem merupakan jumlah dari setiap tegangan yang dibutuhkan setiap peralatan repeater. Sistem pencatutan arus seri membutuhkan total tegangan yang lebih besar apabila jumlah peralatan repeater terpasang bertambah. Sedangkan sistem catu daya repeater dengan metode pencatutan

²⁷ Seiichi Shimura, International Submarine cable Systems, Journal, KDD Engineering And Consulting, Inc, Tokyo 1985, hal 150.

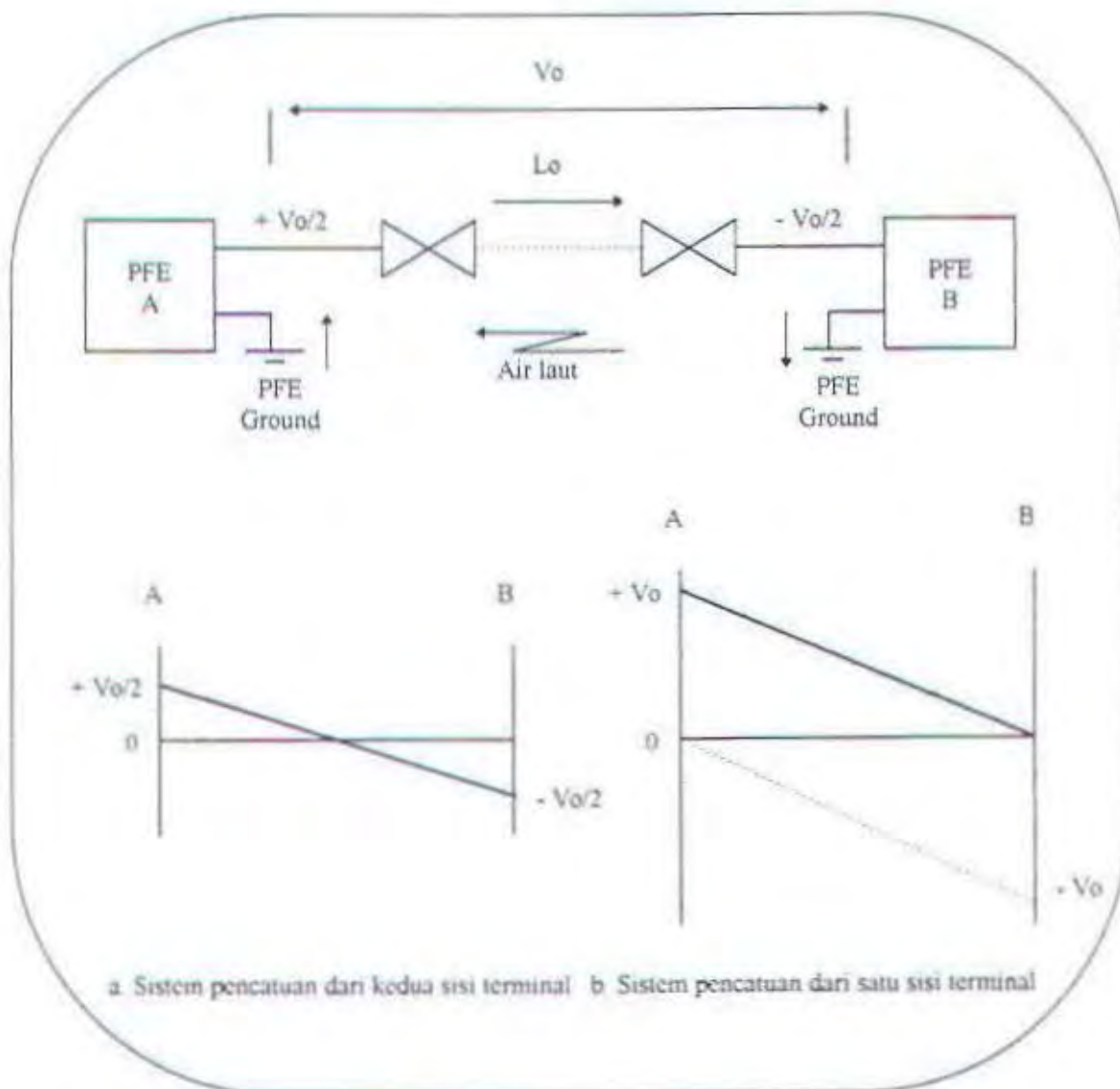
tegangan konstan secara paralel mengakibatkan total arus yang dibutuhkan sistem merupakan jumlah setiap arus yang dibutuhkan setiap peralatan repeater.

Pada umumnya sistem catu daya repeater yang dilakukan adalah pemberian arus konstan secara seri untuk setiap peralatan repeater. Hal ini disebabkan rangkaian catu daya repeater yang dibutuhkan lebih sederhana dan lebih ekonomis. Rugi-rugi daya yang hilang sepanjang kabel catu daya repeater dapat dikurangi sekecil mungkin. Dimana besarnya rugi-rugi daya yang hilang tergantung kepada besarnya arus yang mengalir sepanjang kabel catu daya dan besar hambatan kabel catu daya yang digunakan. Dengan pemberian arus konstan secara seri, sistem pencatutan daya repeater masih dapat dilakukan apabila terjadi perbedaan potensial tanah antara dua kabel catu daya yang disebabkan karena adanya gangguan arus singkat. Sistem catu daya repeater dengan pemberian arus konstan secara seri kepada setiap peralatan repeater biasa digunakan, karena memberikan unjuk kerja dan keandalan yang lebih baik.

Pada sistem catu daya repeater arus konstan secara seri, arus catu daya disalurkan ke setiap peralatan repeater melalui lapisan kawat tembaga pada bagian pelindung luar kabel laut. Jalur arus balik berupa elektroda pentanahan pencatutan daya yang ditempatkan pada kedua sisi stasiun terminal, ditanam pada kedalaman tertentu. Sedangkan media transmisi arus balik catu daya adalah dengan menggunakan air laut dan permukaan dasar laut.

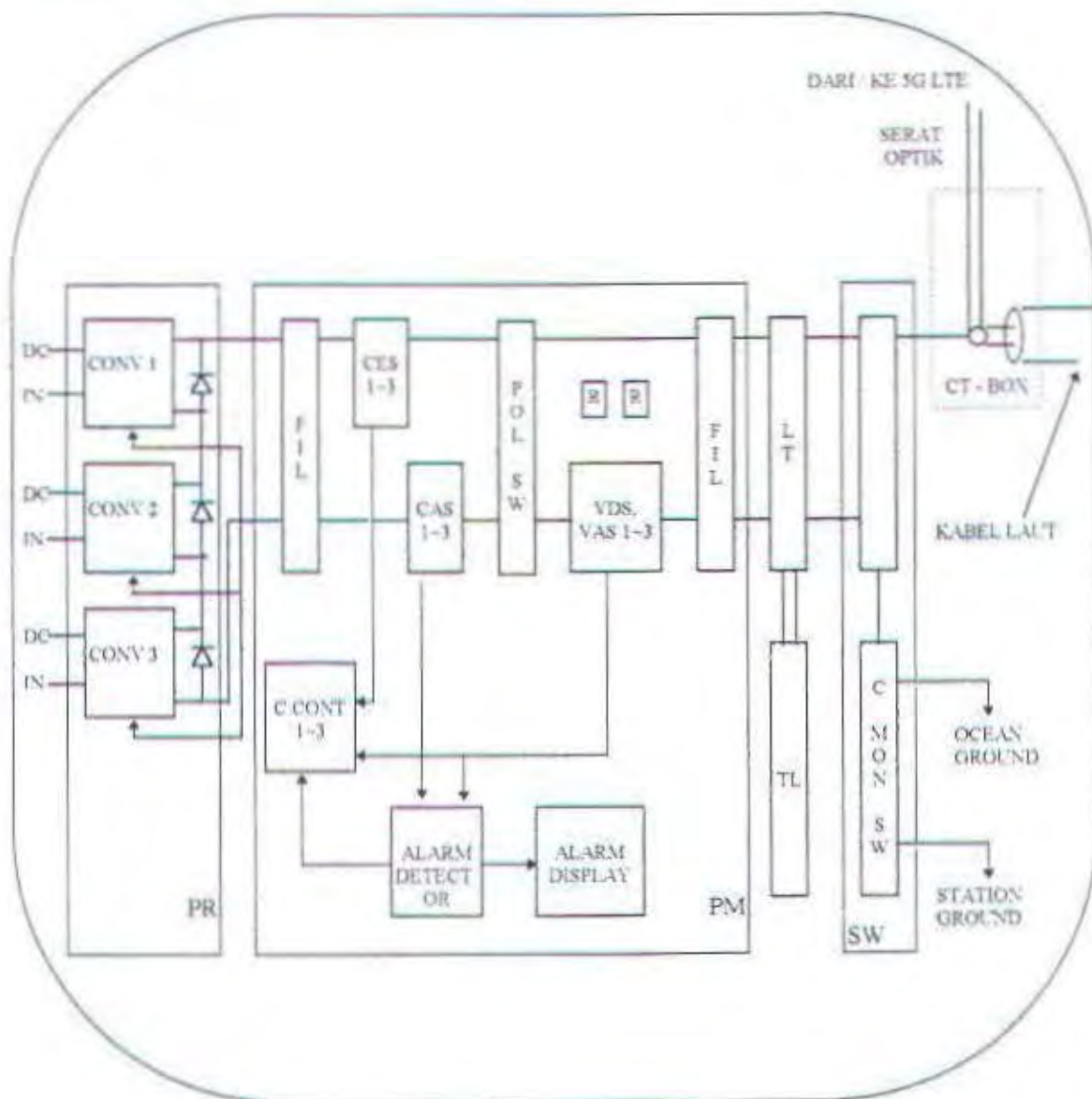
Dalam kondisi sistem pencatutan normal, beban peralatan repeater keseluruhan dicatu oleh kedua peralatan PFE secara seimbang dari kedua sisi stasiun terminal. Pembagian sistem pencatutan secara seimbang antara kedua peralatan PFE memberikan keandalan sistem yang lebih baik. Pencatutan dibagi atas polaritas positif pada satu sisi dan polaritas negatif pada sisi yang lain. Pada saat terjadi kerusakan atau kesalahan pada

salah satu peralatan PFE sisi stasiun terminal maka peralatan PFE sisi stasiun terminal lawannya akan segera mengambil alih beban pencatutan sepenuhnya secara otomatis. Pada kondisi ini sistem pencatutan dilakukan secara tunggal oleh peralatan PFE yang terdapat pada salah satu sisi stasiun terminal.



Gambar 3.8²⁸ Sistem catu daya repeater arus konstan seri

²⁸ Ibid. halSeiichi Shimura Op. Cit. p.104.



Gambar 3.9²⁹ Blok diagram Power Feeding Equipment

Keterangan

PR : Power Regulator Rack

PM : Power Monitor Rack

LT : Load Transfer Rack

TL : Test Load Rack

C - CONT : Current Central

CES : Current Error Sensor

CAS : Current Alarm Sensor

VDS : Voltage Drop Sensor

²⁹ PT. Telekomunikasi Indonesia, Op. Cit. p 118.

SW	Switch Rack	VAS	Voltage Alarm Sensor
CT - BOX	Cable Terminating Box	POL SW	Polarity Switch
CONV	Converter	C MON SW	Current Monitor & Switch
FIL	Filter		

Sistem pencatutan yang dilakukan dari kedua sisi stasiun terminal, umumnya digunakan pada sistem komunikasi kabel laut dengan jarak bentang sistem yang cukup jauh (≥ 750 km). Hal ini dilakukan untuk mempertahankan keandalan peralatan PFE, karena memberikan keandalan yang tinggi maka peralatan PFE pada setiap sisi stasiun terminal hanya menanggung setengah dari besarnya tegangan maksimum catu daya yang dibutuhkan untuk mencatu konfigurasi peralatan repeater menjadi lebih sederhana dan mudah dilakukan.

3.5 Peralatan Bawah Laut

Peralatan bawah laut serat optik terdiri dari dua buah peralatan pendukung utama antara lain repeater bawah laut dan kabel laut serat optik. Kabel laut serat optik berfungsi sebagai media sistem transmisi utama pengiriman informasi dalam bentuk sinyal digital optik yang berasal dari kedua peralatan TTE. Sedangkan repeater berfungsi sebagai penguat sinyal agar daya sampai ke penerima dengan baik.

3.5.1 Repeater

Repeater berfungsi untuk meneruskan sinyal dari pemancar sampai ke penerima agar dapat dicapai dengan benar sinyal tersebut, dimana dalam repeater tersebut sinyal akan mengalami penguatan. Repeater yang digunakan pada merupakan repeater dengan

penguat optik yang dapat menyediakan penguat optik untuk 1,2,3 atau 4 pasang fiber serta tidak mempunyai bagian komponen aktif. Kesederhanaan ini merupakan hal yang penting dari repeater, dimana tidak ada proses mekanik diperalatan bawah laut yang menyebabkan sistem mengalami keausan dan kemungkinan kegagalan repeater untuk diperbaiki diperkecil dengan pengurangan mode-mode kegagalan dari repeater.

Repeater menggunakan erbium-doped fiber (EDF) sebagai penguat optik, mempunyai arti yang penting bagi penguatan dalam sistem transmisi jarak jauh. Dibandingkan dengan teknologi repeater regeneratif dimana sinyal dikonversikan dari optik ke elektrik, pembentukan kembali dan mengkonversikan kembali ke optik. Amplifier optik mempunyai banyak keuntungan antara lain kesederhanaan, keandalan yang tinggi, bandwidth yang sangat lebar, biaya yang relatif rendah. Penguat optik berisi sebatang erbium-doped fiber yang menyediakan media penguat, sumber energi yang memompa fiber untuk menyediakan gain dan kopling energi pompa kedalam fiber dengan cahaya sinyal dikuatkan tanpa campur tangan. Sekali penguat erbium dipompa kedalam keadaan tereksitasi, mampu memproduksi gain optik melalui emisi terstimulasi melalui sebuah sinyal photon yang lewat serta derau optik melalui kehilangan radiasi secara spontan.

Dalam sistem bawah laut, penguat repeater harus juga beroperasi dalam keadaan kompresi. Dalam kompresi, penguat mengatur daya optik dari sinyal yang merambat melalui kabel bawah laut. Untaian fiber / rentang amplifier dalam kompresi mengkompensasi untuk penurunan sistem melalui sebuah proses pengaturan gain secara otomatis. Karakteristik dari penguat optik adalah bila untuk sebuah titik operasi dalam daerah kompresi, amplifier gain meningkat jika daya input amplifier rata-rata menurun.

Sebaliknya, gain akan menurun jika daya input amplifier rata-rata naik. Jadi gain amplifier optik beroperasi dalam kompresi mengatur sendiri variasi dari daya input.

Keunggulan dari repeater berpenguat optik adalah ³⁰:

- Dapat untuk laju bit dengan transmisi dari trafik pesan 5 Gbit perdetik dan lebih dari 9000 km.
- Menyediakan sebuah modular desain repeater untuk mengakomodasi dari satu sampai empat pasangan amplifier.
- Kompleksitas repeater yang minimum karena jumlah komponen yang sedikit sehingga dapat meningkatkan keandalan keseluruhan sistem
- Konsumsi arus dan daya yang minimum
- Mempunyai kemampuan untuk melawan sentakan arus yang dipengaruhi kesalahan jalur serta melawan hubung pendek atau kegagalan lain dalam komponen.
- Menyediakan untuk self-regulation dan pengulangan pasif dengan masing-masing pasang amplifier seperti yang dibutuhkan untuk menjamin bahwa obyektifitas keandalan sistem tercapai.
- Mempunyai kemampuan pemantauan unjuk kerja pasangan amplifier untuk menyediakan fasilitas aktifitas pemantauan sistem rutin dan untuk menyediakan fasilitas lokalisasi kesalahan dengan cepat.

3.5.1.1 Komponen Repeater

Desain sepasang amplifier

Karakteristik repeater adalah menghasilkan secara langsung arsitektur dan komponen yang digunakan. Erbium-Doped Fiber (EDF) tereksitasi melalui daya pompa pada 1480

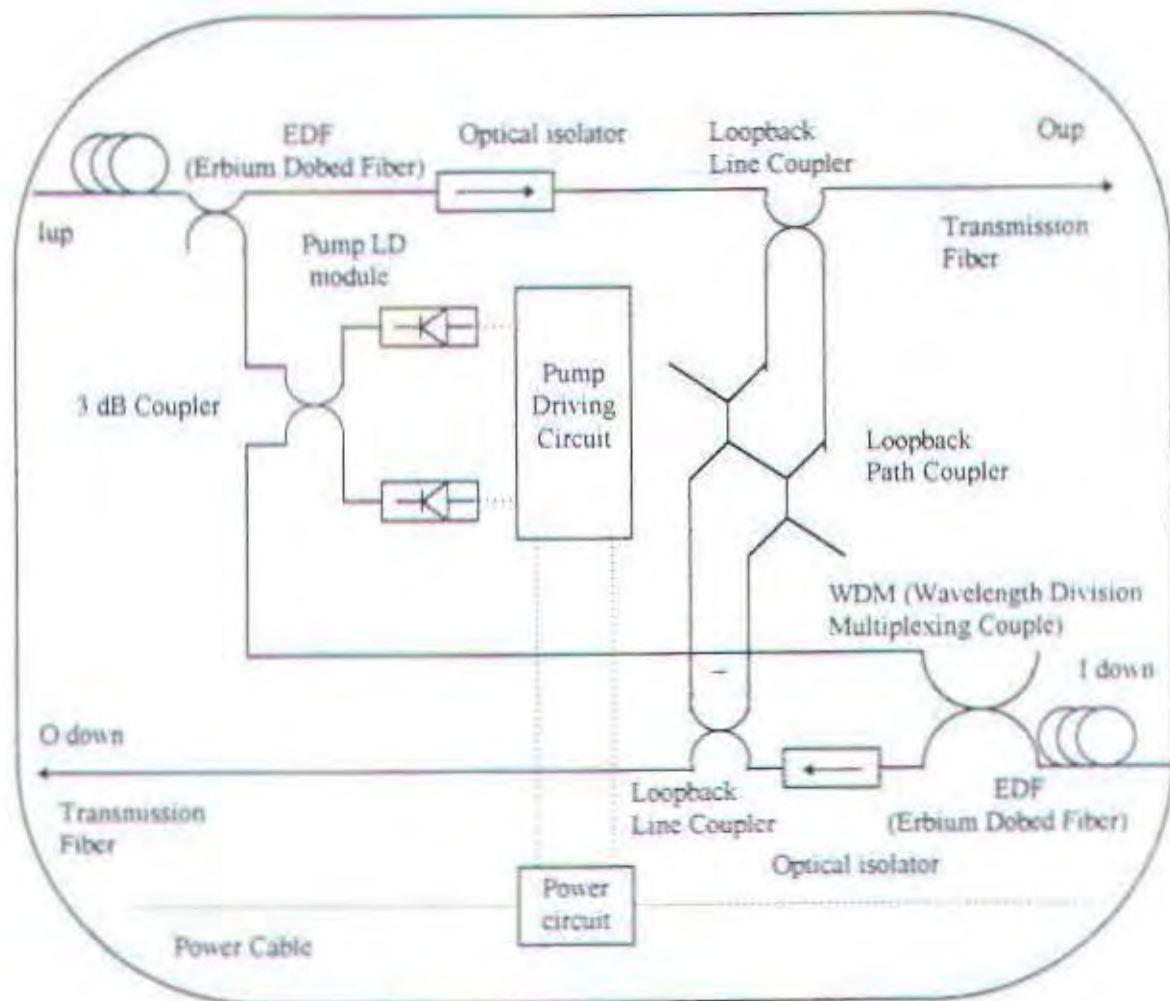
³⁰ Ibid, hal 7,1.

nm merambat dalam arah berlawanan ke perambatan sinyal. Konfigurasi ini meminimalkan rugi-rugi optik sebelum masukan ke amplifier yang dapat menyumbangkan ke noise figure yang rendah. Daya pompa tergandeng dalam EDF melalui WDM coupler didesain untuk unjuk kerja yang optimal pada 1558,5 nm dan 1480 nm untuk jalur transmisi dan jalur pompa. Isolator optik mencegah pertumbuhan dari perambatan daya optik yang tertinggal sepanjang seksi optik (jalur berepeater).

Erbium-Doped Fiber

Panjang dari EDF dari 10 sampai dengan 30 meter dan diletakkan pada baki terlindung, ketika dipompa oleh cahaya pada pita panjang gelombang 1464 sampai dengan 1485 nm, EDF menyediakan penguatan untuk sinyal optik yang mempunyai panjang gelombang antara 1550 sampai dengan 1560 nm. Pada proses penguatan, EDF juga membangkitkan noise Amplified Spontaneous Emission (ASE) melalui pita lebar panjang gelombang dari 1520 sampai 1570 nm. Noise ini ditambahkan ke sinyal pada masing-masing amplifier sebagai sinyal melewati sistem. Ini menurunkan kualitas sinyal gain pada dua cara yaitu: pertama karakteristik kompresi gain amplifier yang dihasilkan pada gain yang berkurang menjadi noise ASE terakumulasi dan amplifier memegang total daya optik konstan dan yang kedua, noise ASE bercampur dengan sinyal optik pada penerima photodioda untuk jalur berepeater, penyebab noise signal spontaneous beat pada sistem melalui ketergantungan spektral gain EDF. EDF amplifier didesain untuk mempunyai puncak gain pada sinyal panjang gelombang dan mode-mode pengurangan gain pada panjang gelombang terdekat, melipatgandakan melalui beberapa amplifier pada sistem yang berlaku seperti filter melawan repeater.

Puncak gain panjang gelombang adalah 1558,5 nm dan bandwidth noise sekitar 3 nm. Untuk segmen jalur berepeater, level sinyal jatuh antara repeater pertama dan repeater terakhir dikarenakan peningkatan noise ASE sekitar 1 dB.



Gambar 3.8³¹ Blok diagram repeater berpenguat optik

WDM Coupler

WDM coupler adalah tiga port pasif bersekring - fiber coupler. Tiga port didesain sebagai input pompa, sinyal output dan common. Coupler didesain sehingga

³¹ Ibid, hal 7.28.

1. Rugi-rugi terukur antara common port dan port sinyal adalah rendah pada sinyal panjang gelombang (secara nominal antara 1556 dan 1560 nm) dan tinggi pada port pompa panjang gelombang (secara nominal 1475 nm) dan
2. Rugi-rugi terukur antara port pompa dan common port adalah tinggi pada sinyal panjang gelombang dan rendah pada pompa panjang gelombang.

WDM coupler digunakan sebagai :

- Untuk mengarahkan sinyal yang dikuatkan dan noise ASE dari EDF ke dalam isolator optik
- Untuk mengarahkan daya pompa dari unit pompa laser ke dalam EDF.

Isolator Optik

Isolator optik adalah dua port pasif komponen optik yang menyediakan rugi-rugi optik rendah pada arah perambatan sinyal dan rugi-rugi tinggi pada arah berlawanan. Unjuk kerja isolator optik tidak tergantung pada polarisasi kedatangan cahaya. Kristal birefringent digunakan pada konjungsi dengan rotator Faraday untuk memperoleh derajat tinggi isolasi dengan polarisasi sangat rendah tergantung rugi-rugi.

Modul pompa laser dioda

Pompa cahaya untuk mengeksitasi EDF disediakan dari Indium Gallium Arsenide Phosphide injeksi laser yang dikemudikan oleh arus langsung. Laser adalah efisien, membutuhkan sedikit dari 650 mA dari arus kemudi melewati waktu hidup sistem. Cahaya laser digandeng ke pigtail fiber melalui sistem pelensaan yang membangun ke dalam modul. Efisiensi coupling dari skema coupling secara tipikal lebih besar dari 50 % dan kualifikasi kerja yang luas telah dikerjakan untuk mengkonfirmasi stabilitas coupling sepadan dengan kebutuhan sistem.

3 dB dan Loopback Coupler

Tiga tipe dari coupler chromatic digunakan pada sepasang amplifier. Keseluruhannya adalah 4 port peralatan dengan secara nominal perbandingan coupling konstan silang dengan panjang gelombang yang digunakan. Desain didasarkan pada teknologi fused fiber. 3 dB coupler digunakan untuk menggabungkan pompa cahaya dari dua modul pompa laser dioda untuk membagi cahaya terkombinasi antara dua EDFA pada sepasang amplifier. 10 dB coupler digunakan untuk mensample output cahaya dari masing-masing amplifier dan untuk menggandeng cahaya tersample ke dalam pengarah. Jalur loopback coupler adalah sangat tinggi perbandingan coupling digunakan untuk meredam cahaya tersample sebelum digandeng kembali ke dalam amplifier yang berlawanan. Dengan penerapan jalur HLLB dengan menggunakan perbandingan coupler yang tinggi menggantikan elemen rugi-rugi.

Modul Rangkaian Kontrol Pompa dan Pengkondisian Daya

Rangkaian terintegrasi monolitik berkecepatan rendah pada konjungsi dengan transistor daya dan monitor photodioda backface dalam modul pompa laser dioda, penerapan fungsi kontrolnya untuk arus laser. Rangkaian menggunakan teknologi untuk menjamin kehandalan tinggi dan terlindung dari hentakan pada jalur arus oleh dioda zener dan penyeimbangan elemen rangkaian. Repeater terlindung melawan hentakan arus disebabkan oleh hubung singkat pada sistem kabel, bahkan jika kabel diisi ke output tegangan maksimum dari PFE. Hambatan dinamik dari repeater pada frekuensi elektroding dan hambatan arus rendah dari repeater juga ditentukan oleh rangkaian ini. Frekuensi rendah dari repeater diabaikan dibandingkan dengan impedansi dari kabel dan resistansi rendah lebih sedikit dari 600 ohm peringkat amplifier.

Operasi dari tiap pasangan amplifier adalah bebas dari komponen menggunakan implementasi dari pasangan amplifier yang lain dalam sebuah repeater. Efek dari sebuah kegagalan rangkaian terbuka dari jalur daya melalui repeater, disana tidak ada mode kegagalan sympathetic di antara pasangan amplifier repeater. Amplifier secara optik dihubungkan ke serat dalam seksi kabel melalui pigtail serat optik singlemode.

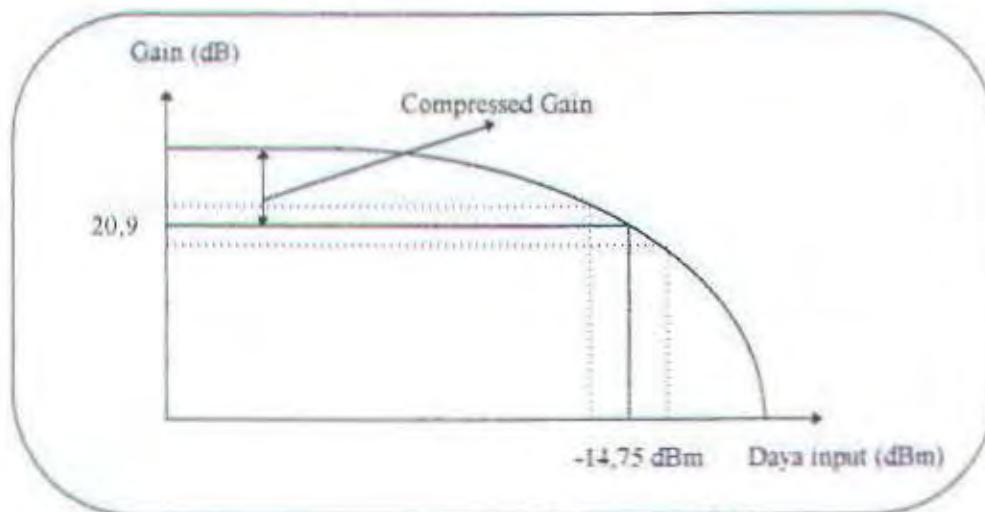
3.5.1.2 Prinsip Operasi

Sepasang amplifier merupakan dasar sub unit dalam repeater yang mempunyai tiga pokok sub proses, gain optik pada sinyal panjang gelombang, pemompa optik dari amplifier pada 1480 nm dan hubungan rugi-rugi tinggi (high loss connection) antara amplifier dalam sebuah pasangan untuk mendukung pemantauan kesehatan peralatan bawah laut. Didalamnya tidak terdapat kecepatan tinggi dari rangkaian listrik dalam sepasang amplifier dan arsitektur yang sederhana untuk meningkatkan keandalan dan kekuatan fungsi.

1. Gain optik

Proses utama dilakukan melalui sepasang amplifier merupakan penguatan optik dari sinyal pada panjang gelombang sekitar 1558,5 nm. Pada rata-rata, gain melawan karakteristik panjang gelombang dari amplifier mempunyai gain maksimum dengan beberapa puluh nanometer dari operasi panjang gelombang sistem. Gain nominal diperoleh pada daya input nominal dan gain menurun ketika daya input meningkat. Tidak seperti pada penguat listrik, kompresi gain dalam amplifier optik tidak menyebabkan sinyal distorsi dan proses gain optik adalah bebas dari sinyal frekuensi dari beberapa kilohertz sampai Gigahertz. Karakteristik kompresi repeater merupakan sentral untuk desain dan keandalan sistem jalur transmisi optik. Bagian repeater berpenguat yang

disusun secara seri merupakan pengaturan sendiri dengan mengacu pada level sinyal optik. Setiap menurun dalam input ke satu amplifier akan menghasilkan gain yang lebih besar dari amplifier tersebut dan dengan beberapa amplifier dalam jalur berepeater, level sinyal operasi akan diperbaiki ke harga nominalnya sendiri. Karakteristik ini membolehkan jalur berepeater untuk memperkecil penurunan dari penghasilan kualitas sinyal dari peningkatan yang besar dalam rugi-rugi komponen optik secara individu.



Gambar 3.9³² Karakteristik tipikal gain dengan daya input EDFA

2. Pemompa Optik

Output dari dua modul pompa laser dioda digabung dalam 3 dB coupler dan dua output dari 3 dB coupler mengirimkan daya pompa optik ke dua amplifier dalam sepasang amplifier. Arsitektur ini membutuhkan sejumlah kecil dari bagian-bagian dan menghilangkan sejumlah kegagalan mode beberapa feedback dan desain pompa dikontrol secara eksternal serta menyediakan pompa aktif redundancy. Tiap-tiap pompa laser

³² Ibid, hal 7.36.

mengirimkan daya output yang tetap yang akan terbagi antara dua amplifier dari sepasang amplifier. Bahkan kegagalan lengkap dari salah satu pompa laser tidak akan menyebabkan kegagalan transmisi dalam bagian jalur digital, bahkan tidak untuk satu detik karena daya pompa dari laser yang lain cukup untuk menjaga gain amplifier dengan beberapa dB dari harga nominalnya. Seperti yang digambarkan diatas, pengaturan sendiri alamiah dari jalur optik segera mengkompensasi untuk daya input yang dikurangi ke aliran amplifier, dengan sebuah perubahan dalam kualitas sinyal pada terminal penerima yang lebih kecil dari batas desain ke dalam bagian optik. Keandalan unit pompa lebih jauh dipertinggi melalui desain rangkain pengontrol pompa. Arus pengemudi sebuah pompa laser dioda dikontrol oleh rangkaian kecepatan rendah yang juga didesain untuk melindungi sistem. Kegagalan dari rangkaian terpadu, daya transistor atau pengaturan dioda bersamaan dengan kontrol dari salah satu pompa laser dioda tidak dapat menghasilkan perubahan yang penting ke titik operasi dari laser dioda yang lain dalam unit pompa.

3. Hubungan optik untuk mendukung pemantauan

Sekumpulan coupler optik mendirikan jalur optik dengan rugi-rugi tinggi antara output fiber dari dua penguat pada sepasang amplifier. Terdapat tiga jalur rugi-rugi tinggi penting setiap sepasang amplifier. Satu jalur per amplifier menggabungkan sebuah sample kecil dari output dari amplifier dengan output dari amplifier yang lain dalam pasangan dan satu jalur adalah link bidirectional untuk penggabungan sebuah sample dari cahaya yang dipantulkan kembali kedalam output dari satu amplifier dengan output amplifier yang lain. Ada dua tipe dari jalur interconnecting yang disebut dengan jalur High Loss Looback (HLLB) dan jalur OTDR. Jalur HLLB memperkenalkan LME untuk memonitor loop gain dari terminal ke masing-masing repeater dan kembali. Ini dapat

dikerjakan juga dalam in-service atau out-service pada segmen jalur berepeater yang dapat diberi daya ke repeater.

Tabel 3.1³⁵ Karakteristik Operasi Normal dari Repeater

No	Parameter	Karakteristik
1	Panjang Gelombang	1558,5 nm
2	Daya Input	-14,75 dBm
3	Gain	20,9 db
4	Daya Output	6,15 dBm
5	Noise Figure	6,5 dB
6	Gain Pembalik Maksimum	-4 dB
7	Rugi-rugi pada Jalur HLLB	45 dB
8	Rugi-rugi pada Jalur OTDR	23 dB
9	Gain Ketergantungan Polarisasi Maksimum	0,2 dB
10	Return Loss Input Minimum	5 dB
11	Return Loss Output Maksimum	36 dB
12	Arus Operasi	0,92 A
13	Drop Tegangan Operasi Maksimum Per pasangan Amplifier	8 v
14	Daya Dissipasi Maksimum Perpasangan Amplifier	7,4 Watt
15	Tegangan Operasi Maksimum di atas Tanah	8000 Volt
16	Arus Bocor Maksimum	1 μ A

Dari loop gain dan peta dari loop gain versus posisi repeater, LME dapat melihat perubahan penting dalam net gain dalam sebuah seksi repeater (rugi-rugi serat optik dan gain amplifier) dan mendeteksi kegagalan pompa laser. Bersama dengan jalur HLLB dan OTDR menyediakan gambaran repeater yang mendukung dengan penuh daya dan peralatan yang efektif untuk pemantauan kesehatan dari seksi optik. Dalam kejadian sebuah sistem gagal, sistem pemantauan ini membolehkan pelokalisasi kesalahan dalam beberapa kasus dengan rentang repeater yang spesifik. Jalur didirikan dengan coupler optik keandalan tinggi dan kebanyakan mode kegagalan dari jalur HLLB dan

coupler optik keandalan tinggi dan kebanyakan mode kegagalan dari jalur HLLB dan OTDR tidak mempunyai kemampuan melihat pengaruh pada transmisi data melalui seksi optik.

3.5.2 Kabel Laut Serat Optik

Kabel laut serat optik telah dioptimalkan untuk empat parameter transmisi yaitu Dispersi chromatik, polarisazion Mode Dispersion (PMD), ketidaklinieran (Non-linearity) dan redaman (Attenuation).

Dispersi Chromatik

Merupakan hal penting berupa rata-rata zero-dispersion wavelength (ZDW) dari tiap-tiap jalur transmisi fiber dengan tepat diluruskan dengan puncak gain pita sempit (1 sampai 2 nm) yang dihasilkan ketika ratusan dari amplifier erbium-doped fiber dikaskade dalam mata rantai yang membentang ribuan kilometer. Tujuan utama dari zero dispersion sepanjang jarak dari sistem adalah menghasilkan pelebaran sinyal yang besar dikarenakan ketidaklinieran dalam fiber. Hal ini penting pada transmisi jarak jauh, di karenakan akumulasi dispersi yang bersifat negatif yang secara periodik disamakan agar mengurangi akumulasi dari distorsi ketidaklinieran. Kontrol yang tepat dari rata-rata ZDW melibatkan permintaan toleransi dan tracking selama pembuatan fiber.

Polarization Mode Dispersion (PMD)

Fiber dengan simetri sirkular yang sempurna dapat merambatkan dua mode orthogonal HE_{11} melalui jarak yang diberikan dengan beberapa waktu transit identik. Kabel memiliki inti yang elips dan berisi ketegangan dalam daerah pemandu optik dari fiber. Ketidak sempurnaan ini merusak degenerasi dari orthomode, dengan memberikan kenaikan efek birefringent yang menghasilkan dalam perbedaan dalam group delay antara dua mode.

Efek ini dikenal sebagai Polarization Mode Dispersion. Kenyataannya bahwa sebuah sinyal dapat dibawa oleh dua mode mempunyai perbedaan waktu transit dapat melemahkan sistem dimana sejumlah pelemahan tergantung dari bit rate, panjang sistem, karakteristik PMD dari jalur fiber dan interaksi dengan pelemahan lain seperti ketidaklinieran fiber. Sistem pemandu fiber adalah subyek yang didistribusikan kopling antara mode perambatan, penyebab pertukaran energi antara mereka. Kopling ini atau pertukaran energi antara mode disebabkan kombinasi dari faktor-faktor. Kopling ini antara mode dapat bermanfaat, ketika ujung-ujung efek dispersi diperkecil dalam keberadaan dari kopling. Efek yang bermanfaat dari jalur fiber dengan mode kopling

Ketidaklinieran (Non-linearity)

Profile indeks bias dari silika-dasar media fiber adalah paling sering dipakai oleh harga numerik yang berhubungan ke daerah inti dan pembungkus dari fiber. Pemakaian ini biasanya cukup sering untuk memperkirakan tingkah laku perambatan, yang terdiri dari level transmisi-sinyal rendah melalui jarak perambatan yang tidak terlalu jauh. Pada kasus sistem yang didasarkan pada amplifier (amplifier-based systems) yang ribuan kilometer panjangnya menggunakan indeks bias yang sederhana adalah tidak cukup. Indeks bias dari fiber sistem yang jauh dipengaruhi oleh level daya optik dari sinyal transmisi. Meskipun perubahan dari indeks bias kecil, efek kumulatif sepanjang jalur optik yang panjang dapat menyumbangkan degradasi pada unjuk kerja sistem, disebabkan perubahan pada spektrum optik dan ukuran sinyal pulsa.

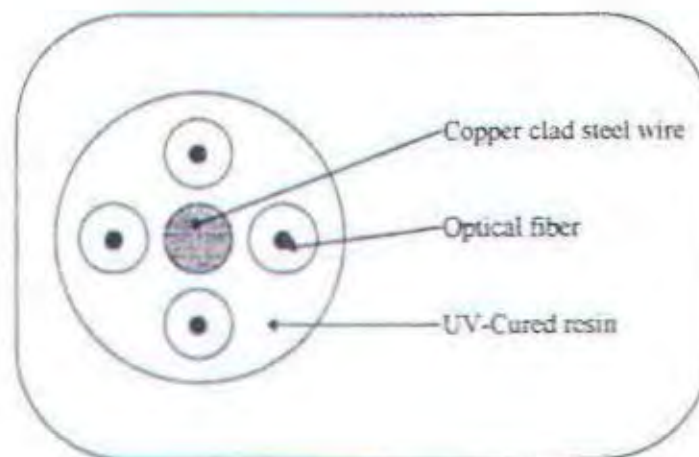
Redaman (Attenuation)

Redaman pada DSF (Dispersive-Shifted Fiber) fiber cenderung agak lebih tinggi dari pada fiber konvensional, dikarenakan meningkatnya penyebaran Rayleigh yang menghasilkan level lebih tinggi dari dopant GeO_2 yang dimasukkan dalam inti fiber.

Rugi-rugi rata-rata merupakan tipikal dalam range 0,200 dB/km. Dengan pengkabelan dan penggabungan splicing dan jointing, rugi-rugi terpasang kira-kira 0,205 dB/km dapat diharapkan.

3.5.2.1 Struktur Kabel Laut Serat Optik

Kabel laut serat optik memiliki struktur berbeda satu dengan yang lain, tergantung kepada kondisi lingkungan dasar laut dimana kabel laut serat optik akan ditempatkan. Struktur kabel laut serat optik mempunyai tiga bagian utama sebagai struktur dasar.



Gambar 3.12 Unit serat optik

Pertama, unit serat optik yang tersusun pada bagian pusat terselubung kabel laut, umumnya setiap unit terdiri dari empat buah serat optik. Untuk menstabilkan dan menguatkan letak atau posisi antar serat optik pada tempatnya, ditambahkan lapisan sintesis dari bahan elastomer dan kawat baja pada bagian tengah unit serat optik. Selain itu lapisan elastomer juga berfungsi untuk mengurangi pertambahan redaman

mikrobending yang mungkin terjadi. Untuk menambahkan kekuatan struktur unit serat optik diberikan lapisan pelindung berupa lapisan nilon tipis dan rajutan kawat baja.

Struktur konstruksi dan material utama yang digunakan sebagai bahan penyusun unit serat optik harus memiliki kualitas yang cukup baik. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan keandalan yang cukup tinggi, baik dari segi kualitas transmisi serat optik maupun dari segi kualitas mekanik kabel laut.

Jenis serat optik yang digunakan adalah Dispersion Shifted Fibers (DSF) yang dioptimalkan pada panjang gelombang 1558.5 nm yang akan digunakan untuk sistem kabel bawah laut penguatan optik (Optical Amplification Submarine Cable System). Jumlah maksimum kabel yang dapat ditampung dalam kabel laut serat optik adalah 4 (empat) pasang dapat dimuat dalam kabel laut.

Tabel 3.2³⁴ Karakteristik serat optik jenis DSF

No	Perihal		Nilai
1.	Data Geometrik	Mode Field Diameter (1558,5 nm) Mode Field Concentricity Error Cladding Non-Circularity Cladding Diameter	$8.1 \pm 0.5 \mu m$ $\leq 1 \mu m$ $\leq 2\%$ $125 \pm 2 \mu m$
2.	Diameter	UV Urethane Sheat	Nominal 0.4 mm
3.	Karakteristik Optik	Attenuation (1558,5 nm) Chromatic Dispersion (1563 nm)	$\leq 0,23 \text{ dB/km}$ $\pm 3.0 \text{ ps/km.nm}$
4.	Karakteristik mekanik	Allowable Bending Radius Proof test	30 mm $2\% \times 1 \text{ sec}$

Secara garis besar persyaratan sasaran disain yang harus dimiliki unit serat optik dapat disebutkan sebagai berikut:³⁵

³⁴ PT Telekomunikasi Indonesia Op. Cit hal 5.3.

³⁵ Jonathan L. parapak, 'Application Of Optical Fiber Technology In Submarine Cable Systems, Makalah Seminar, PT Telkom, Jakarta, 1990

- Minimal mungkin terjadi perubahan pertambahan redaman yang disebabkan mikrobending pada saat pembuatan serat maupun saat instalasi kabel laut.
- Memiliki dispersi minimum pada panjang gelombang optik tertentu dengan bandwidth cukup lebar.
- Memiliki struktur relatif stabil, dimensi kecil serta ringan sehingga memudahkan dalam pemasangan.
- Memperkecil kemungkinan terjadinya pemanjangan serat optik yang disebabkan peregangan kabel pada saat instalasi.
- Memiliki kemudahan untuk dilakukan penyambungan optik, baik antara serat optik dengan serat optik yang lain (splicing) maupun antara serat optik dengan komponen optik yang digunakan (LD atau APD).
- Aman dan tahan terhadap pengaruh peresapan dan korosi air laut serta perubahan temperatur yang relatif rendah pada permukaan dasar laut.

Kedua, lapisan logam pelindung berupa kawat baja dan selubung tembaga atau selubung aluminium. Fungsi utama lapisan ini untuk melindungi unit serat optik dari kerusakan (cacat, tergores atau patah) yang disebabkan karena tekanan hidrostatik air laut yang sangat tinggi, tegangan-tarikan kabel yang cukup kuat dan kelembaban yang cukup tinggi. Pada lapisan ini ditempatkan konduktor catu daya repeater berupa selubung logam tembaga. Untuk melindungi terjadinya hubung singkat, konduktor catu daya dilapisi dengan bahan polyethylene dengan karakteristik kerapatan rendah sebagai bahan isolasi serta untuk mencegah kemungkinan terjadi goresan sepanjang kabel.

Ketiga, lapisan polyethylene berfungsi sebagai bahan isolasi dari pengaruh peresapan dan reaksi dengan air laut. Lapisan polyethylene ini terbuat dari bahan polimer khusus dengan kerapatan tinggi. Pada bagian selubung luar kabel laut dapat ditambahkan

bahan metal khusus mantel polyethylene yang berfungsi untuk lebih menambah kekuatan dan ketahanan kabel dengan karakteristik utama tahan terhadap korosi air laut. Untuk penggunaan pada kondisi laut dangkal (kedalaman <100 m) dapat ditambahkan suatu lapisan pelindung berupa pilihan kawat baja (armored) sebanyak satu atau dua lapis.

3.5.2.2 Jenis Kabel Laut Serat Optik

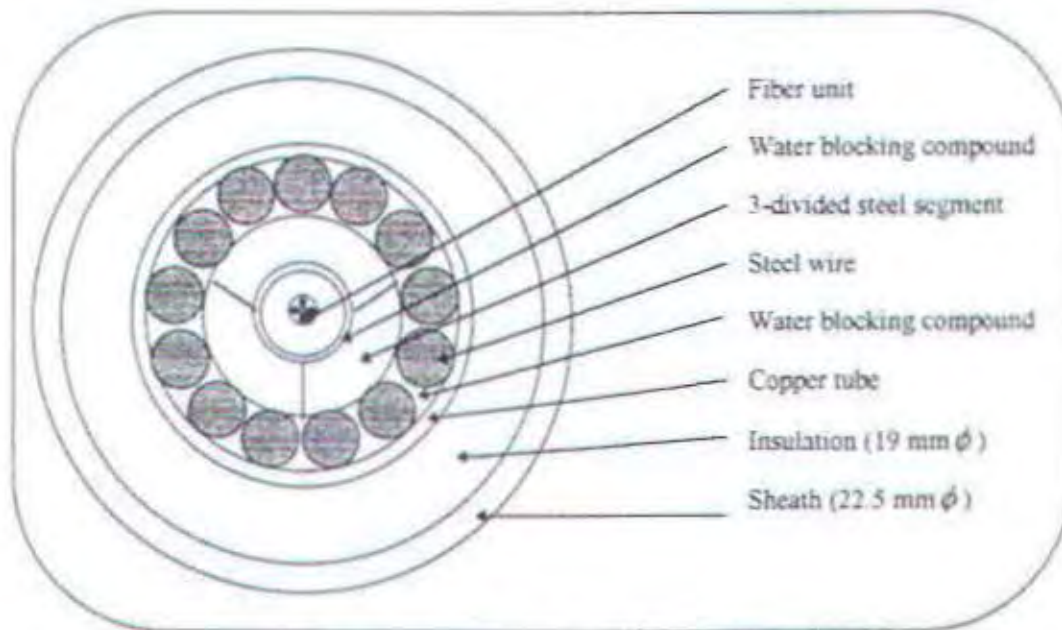
Berdasarkan pada kondisi dan keadaan lingkungan dasar laut dimana kabel laut serat optik akan ditempatkan, maka jenis kabel serat optik yang biasa digunakan dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu kabel laut serat optik tanpa pelindung (unarmored Submarine Fiber Optic Cable) dan kabel laut serat optik dengan pelindung (Armored Submarine Fiber Optic Cable).

3.5.2.2.1 Kabel Laut Serat Optik Tanpa Pelindung

- **Kabel tipe LW (Light Weight)**

Kabel laut serat optik tanpa pelindung umumnya banyak digunakan pada suatu daerah di mana kedalaman laut mencapai ribuan meter (deep sea water). Kabel laut serat optik yang digunakan adalah jenis kabel LW (Lightweight Cable). Kabel ini didesain untuk diterapkan dikedalaman air maksimum sejauh 8000 meter.

Kabel LW ini terdiri dari tiga bagian utama. Pertama empat buah unit serat optik pada bagian pusat kabel dilindungi dengan lapisan kawat baja untuk menguatkan kedudukan. Kedua, selubung pipa tembaga yang sekaligus berfungsi sebagai konduktor jalur arus catu daya repeater. Ketiga, lapisan polyethylene pada bagian luar yang berfungsi untuk memberikan perlindungan mekanis dari pengaruh kikisan dan korosi air laut.



Gambar 3.13³⁶ Tipe kabel LW

Untuk daerah laut dalam di mana aktifitas di dasar laut cukup besar dan berbahaya seperti kikisan dan korosi dasar laut atau bahaya serangan (gigitan) ikan hiu, maka kabel LW ditambahkan suatu lapisan khusus. Kabel laut serat optik jenis ini sering disebut dengan kabel laut berpelindung gigitan ikan atau Fish Bite Protection Cable (FBP). Lapisan khusus yang ditambahkan berupa selubung aluminium yang dilapisi dengan bahan polyethylene kerapatan tinggi.

Sedangkan karakteristik dari kabel LW adalah sebagai berikut³⁷:

1. Unit Serat Optik

Serat optik diuntai sekeliling sebuah tembaga yang menyelubungi kawat baja sebagai unit tension member yang ditanamkan pada UV- cured resin untuk membentuk unit serat optik yang silinder. Resin ini digunakan untuk mencegah air untuk meresap kedalam

³⁶ PT Telekomunikasi Indonesia Op. Cit hal 5.16

³⁷ Ibid, hal 5.3,

kabel. Diameter unit outer sekitar 2.55 mm. Unit serat optik ini digunakan untuk kabel LW dan LWS

2. Pipa Baja Three-divided

Bagian baja three-divided digabungkan secara membujur melewati unit serat optik untuk membentuk pipa baja tahan tekanan. Jarak antara unit serat optik dan dinding lebih dalam dari pipa diisi dengan bahan campuran urethane yang secara terus menerus berfungsi untuk mencegah air meresap ke dalam kabel. Diameter outer dari pipa baja sekitar 6.1 mm.

Tabel 3.3³⁸ Karakteristik tipe kabel laut

No	Tipe Kabel	Diameter nominal kabel	Berat kabel di udara	Berat kabel di air	Beban kerusakan minimum	Radius pembengkokan minimum
1	LW	22,5 mm	8,88 kN/km	4,98 kN/km	89 kN	900 mm
2	LWS	31,0 mm	13,3 kN/km	5,94 kN/km	98 kN	900 mm
3	SAL	33 mm	22,7 kN/km	15,5 kN/km	156 kN	900 mm
4	SAM	36 mm	32,3 kN/km	23,7 kN/km	222 kN	900 mm
5	DA	55 mm	87,8 kN/km	68,5 kN/km	424 kN	900 mm

3. Tension member dan pipa tembaga

Tension member terdiri dari 14 kawat baja dengan regangan tinggi dari diameter nominal 1.725 mm yang diuntai dengan meletakkan left hand sekitar pipa baja. Selubung pipa tembaga dipasang secara membujur melewati untaian dan ujung obyek dari selubung pipa lapisan yang disatukan untuk membentuk sebuah pipa. Diameter outer dari pipa tembaga

³⁸ Ibid, hal 5.16.

campuran sekitar 10.54 mm. Bahan campuran urethane diisikan sekitar tension member dengan interval yang teratur untuk mencegah peresapan air kedalam kabel secara membujur.

4. Insulation

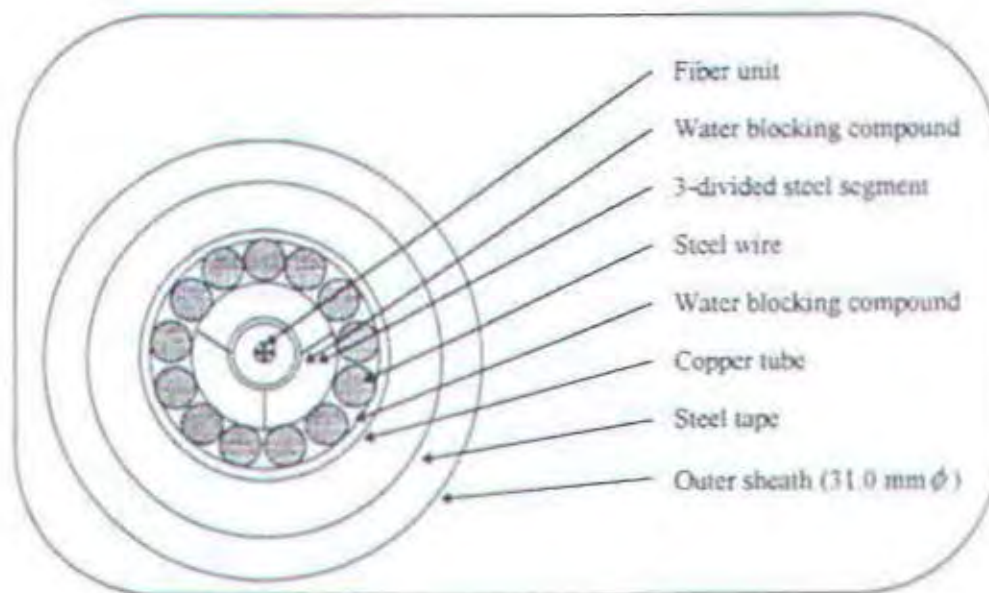
Polyethylene dengan kerapatan rendah dilapiskan ke pipa tembaga untuk menyekat konduktor pencatu daya. Diameter outer penyekat sekitar 19.0 mm.

5. Sheath

Sheath terdiri dari polyethylene dengan kerapatan tinggi dilapiskan ke penyekat. Diameter outer dari sheath sekitar 22.5 mm.

- **Tipe Kabel LWS (Light Weight Screened)**

Kabel ini didesain untuk diterapkan pada kedalaman air maksimum 5000 m.



Gambar 3.14¹⁹ Tipe kabel LWS

¹⁹ Ibid, hal 5, 17.

Sedangkan karakteristiknya adalah sebagai berikut :

1. Inti Kabel

Inti kabel dari tipe kabel LWS adalah sama seperti pada tipe kabel LW.

2. Selubung pipa Logam

Selubung pipa logam dibentuk secara membujur melewati inti kabel untuk melindungi inti dari gigitan ikan hiu atau gesekan pada permukaan laut yang kasar.

3. Sheath

Sheath terdiri dari polyethylene dengan kerapatan tinggi yang dilapiskan pada selubung pipa logam. Ketebalannya sekitar 3.95 mm dari sheath serta menyediakan perlindungan terhadap gigitan ikan hiu. Diameter outer dari sheath sekitar 31.0 mm.

3.5.2.2.2 Kabel Laut Serat Optik Dengan Pelindung

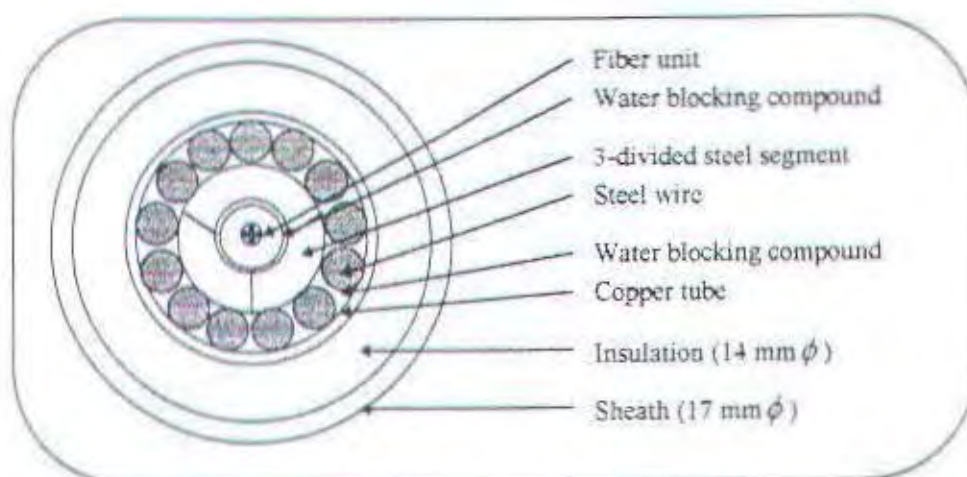
- Kabel laut serat optik dengan pelindung kondisi laut dalam

Pada kondisi tertentu, dapat ditambahkan beberapa lapisan metal, umumnya berupa pilinan kawat baja dan rajutan bahan benang tenun sebagai lapisan pelindung (armored). Hal ini biasa dilakukan apabila kabel laut ditempatkan pada daerah dengan kedalaman laut yang tidak terlalu dalam (laut dangkal), dengan kedalaman ≤ 1000 m. Kabel laut serat optik berpelindung juga sering digunakan pada daerah dimana interaksi antara kabel laut yang terpasang dengan aktifitas manusia banyak dilakukan, seperti penangkapan ikan dan lalu lintas pelayaran.

Penggunaan lapisan pelindung pada kabel laut dari gangguan atau bahaya yang mungkin timbul pada lingkungan dasar laut. Gangguan tersebut antara lain adalah tekanan hidrostatik air laut yang cukup besar, gesekan atau goresan benda tajam yang disebabkan karena adanya interaksi dengan batuan didasar laut atau dengan jangkar kapal

serta penangkapan ikan. Disamping itu penggunaan lapisan pelindung juga berfungsi untuk memperkuat konstruksi kabel laut serat optik secara keseluruhan.

Pada dasarnya pembuatan kabel laut serat optik dengan pelindung ini sama dengan pembuatan kabel laut serat optik tanpa pelindung. Perbedaan utama terletak pada penambahan lapisan pelindung yang disesuaikan dengan kondisi dan keadaan dasar laut setempat.



Gambar 3.15⁴⁹ Inti kabel dari kabel berpelingung

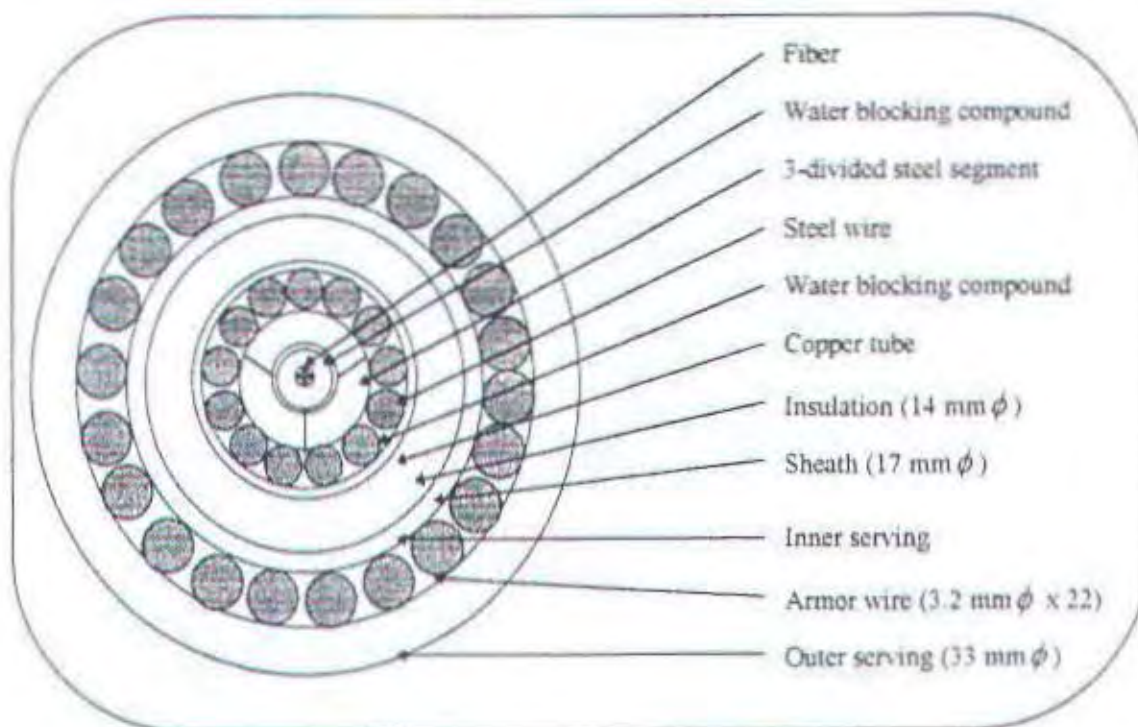
Kabel laut serat optik dengan pelindung tunggal

- Tipe Kabel SAL (Single Armored Light)

Kabel laut serat optik dengan pelindung tunggal atau biasa disebut dengan Single Armor Light (SAL) dibuat dengan cara menambah satu buah lapisan kawat baja galvanis berkekuatan tinggi pada struktur kabel laut serat optik untuk laut dalam. Pada bagian luar kabel laut biasanya ditambahkan lagi satu buah lapisan dengan rajutan polyethylene yang diisi dengan bahan campuran batu bara muda (bituminuos compound). Kabel laut

⁴⁹ Ibid, hal 5.18.

serat optik SAL umumnya digunakan pada daerah dengan kedalaman laut 100 - 1500 meter. Untuk penjelasan dari karakteristik tipe kabel SAL adalah sebagai berikut :



Gambar 3.16⁴¹ Tipe kabel SAL

1. Unit Serat Optik

Serat optik diuntai sebuah tembaga dengan selubung kawat baja seperti pada unit tension member yang ditanam dalam UV - cured resin untuk membentuk sebuah unit fiber silinder seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.8. Resin ini digunakan untuk mencegah air untuk meresap kedalam kabel. Diameter unit outer sekitar 2.3 mm. Fiber ini digunakan untuk kabel berpelindung.

2. Pipa Baja Three - Divided

⁴¹ Ibid, hal 5,19.

Bagian baja three - divided digabungkan secara membujur melewati unit fiber untuk membentuk pipa baja tahan tekanan. Jarak antara unit fiber dan dinding yang lebih dalam dari pipa diisi dengan bahan campuran urethane secara terus menerus untuk mencegah air meresap ke dalam kabel. Diameter outer dari pipa baja sekitar 5.2 mm.

3. Tension Member dan Selubung pipa Tembaga

Tension member terdiri dari 16 kawat baja yang mudah diregangkan dengan diameter 1 240 mm diuntai dengan meletakkan left-hand sekeliling pipa baja. Selubung pipa tembaga diterapkan secara membujur melewati ujung untai dan obyek dari selubung pipa dilapis dan disatukan untuk membentuk pipa. Diameter outer dari selubung pipa tembaga campuran sekitar 8.46 mm. Bahan campuran urethane diisikan sekeliling tension member pada interval teratur untuk mencegah air meresap kedalam kabel secara membujur.

4. Insulation

Polyethylene dengan kerapatan rendah dilapiskankedalam selubung pipa tembaga untuk menyekat konduktor pencatu daya. Diameter outer penyekat sekitar 14 mm.

5. Sheath

Sheath terdiri dari polyethylene dengan kerapatan tinggi dilapiskan ke penyekat. Diameter outer dari sheath sekitar 17 mm.

6. Inner Serving

Inner serving terdiri dari dua lapisan dari benang polypropylene secara helikal diterapkan dengan memasang left-hand dan right-hand

7. Armoring (Pelindung)

Pelindung terdiri dari 22 kawat baja galvanis dengan diameter sekitar 3.2 mm. Kawat-kawat ini dilapisi dengan bahan campuran batu bara muda dan diterapkan secara helikal melewati inner serving dengan left-hand lay.

8. Outer Serving

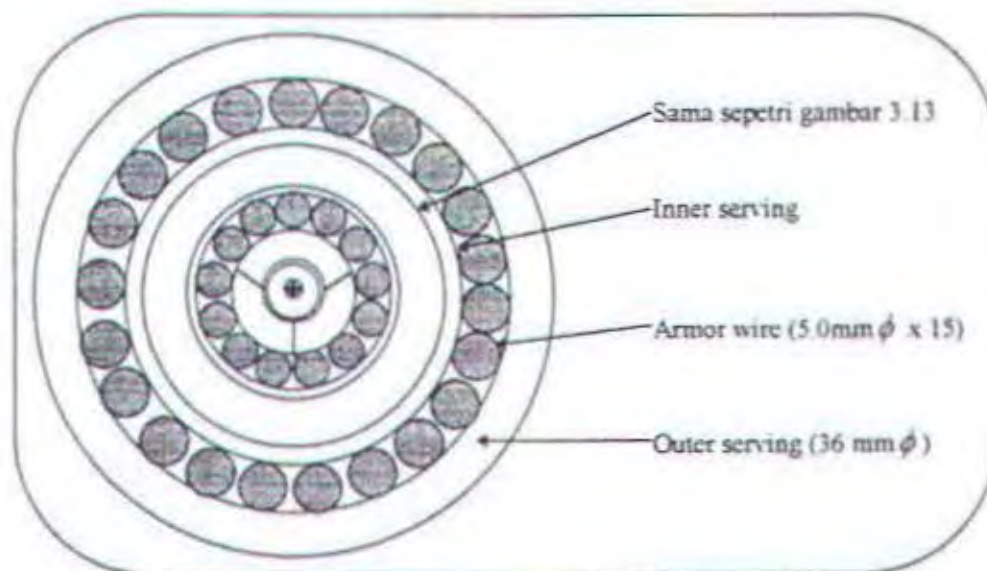
Outer Serving terdiri dari dua lapisan dari benang polypylene yang dipasang secara helikal dengan right-hand dan left-hand lay melewati kawat pelindung. Bahan campuran batu bara muda diterapkan dibawah dan diatas tiap-tiap lapisan dari outer serving. Kabel finished dilapisi dengan kapur. Diameter outer sekitar 33 mm.

- **Tipe Kabel SAM (Single Armored Medium)**

Kabel ini didesain untuk diterapkan di kedalaman air maksimum 1000 m. Sedangkan karakteristik dari kabel tipe SAM adalah sebagai berikut :

1. Inti kabel

Sama seperti tipe kabel SAL.



Gambar 3.17⁴² Tipe kabel SAM

⁴² Ibid, hal 5.20.

2. Inner Serving

Inner serving terdiri dari dua lapisan dari benang polypropylene yang diterapkan secara helikal dengan left-hand dan right-hand lay.

3. Armoring (Pelindung)

Pelindung terdiri dari 15 kawat baja galvanis dengan diameter sekitar 5.0 mm. Kawat-kawat ini dilapisi dengan bahan campuran batu bara muda dan secara helikal diterapkan melewati inner serving dengan left-hand lay.

4. Outer Serving

Outer serving terdiri dari dua lapisan benang polypropylene secara helikan diterapkan dengan left-hand dan right hand lay melewati kawat berpelindung. Kabel finished dilapisi dengan kapur. Diameter outer sekitar 36 mm.

Kabel laut serat optik dengan pelindung ganda

• Tipe kabel DA (Double Armored)

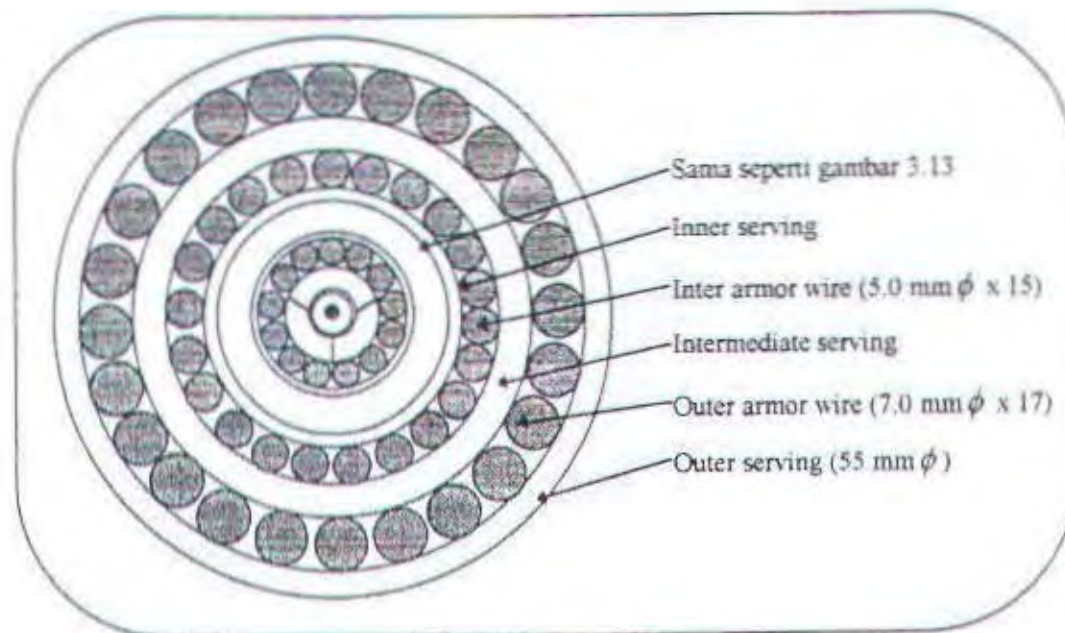
Kabel laut serat optik dengan pelindung ganda atau biasa disebut dengan Double Armored Cable (DA) dibuat dengan cara memberikan penambahan dua buah laisan kawat baja galvanis berkekuatan tinggi dan lapisan rajutan polyethylene yang diisi dengan batu bara muda pada kabel laut serat optik untuk laut dalam. Kabel ini didesain untuk diterapkan pada kedalaman air maksimum 200 m. Sedangkan karakteristik dari tipe kabel DA adalah sebagai berikut :

1. Inti kabel

Inti kabel dari tipe kabel DA adalah sama dengan tipe SAL.

2. Inner serving

inner serving terdiri dari dua lapisan dari benang polypropylene secara helikal diterapkan dengan left-hand dan right-hand lay.



Gambar 3.16⁴³ Tipe kabel DA

3. Inner Armoring

Inner armoring terdiri dari 15 kawat baja galvanis dengan diameter sekitar 5.0 mm. Kawat-kawat ini dilapisi dengan bahan campuran batu bara muda dan diterapkan secara helikal melewati inner serving dengan left-hand lay. Outer serving adalah sama seperti tipe kabel SAM. Diameter outer sekitar 55 mm.

4. Intermediate Serving

Intermediate serving terdiri dari dua lapisan dari benang polypropylene secara helikal diterapkan dengan left-hand dan right-hand lay melewati kawat berpelindung lebih dalam.

⁴³ Ibid, hal 5.21.

Bahan campuran batu bara muda diterapkan dibawah dan diatas serving dengan left-hand lay.

5. Outer Armoring

Outer armoring terdiri dari 17 kawat baja galvanis dengan diameter 7.0 mm. Kawat-kawat ini dilapisi dengan bahan campuran batu bara muda dan secara helikal diterapkan melewati intermediate serving dengan left-hand lay.

3.5.3 Karakteristik Kabel Laut Serat Optik

3.5.3.1 Karakteristik Mekanik

Kabel laut serat optik didesain memiliki karakteristik mekanik agar dapat melindungi unit serat optik dari gangguan peregangan kabel yang cukup besar selama proses instalasi kabel, tekanan hidrostatik air laut yang cukup kuat selama kondisi kabel terpasang dan agregasi yang disebabkan karena faktor eksternal.

Tabel 3.3⁴⁴ Desain obyektif karakteristik mekanik kabel laut serat optik

Karakteristik mekanik kabel laut	Nilai
Diameter luar kabel	≤ 60 mm
Ketahanan terhadap tekanan air laut	≤ 800 kgf / cm
Kekuatan terhadap regangan-tarikan	≤ 8 ton
Berat total kabel di udara	≤ 8 ton/km
Berat total kabel didalam air	≤ 6 ton/km
Ratio tegangan / berat	≥ 20 km/ton
Kecepatan penenggelaman	$\geq 1,5$ km/jam
Bentang kabel siap pasang	≤ 50 km
Kedalaman pemasangan	≤ 8000 m

⁴⁴ AT&T, 'Lightwave Undersea Transmission Systems', Document Presentation, AT&T, Colorado 1990

Persyaratan karakteristik mekanik ini berlaku untuk segala jenis kabel laut serat optik yang ada. Baik jenis kabel laut serat optik yang digunakan pada kondisi lingkungan laut dangkal maupun laut dalam. Sedangkan pada berikut menjelaskan tentang karakteristik mekanik kabel laut serat optik⁴⁵:

1. Minimum breaking load

Tipe kabel LW	98 kN
Tipe kabel LWS	98 kN
Tipe kabel SAL	156 kN
Tipe kabel SAM	222 kN
Tipe kabel DA	424 kN

2. Minimum bending : 900 mm

3. Reverse bending : Kabel menahan 30 pembengkokan balik (reverse bend) untuk radius 900 mm tanpa fiber mengalami kerusakan.

4. Water pressure resistance : Lebih dari 78 Mpa

5. Water Ingress : Lebih kecil dari 250 m/ 2 minggu pada kedalaman 1000 m dan lebih kecil 1000 meter / 2 minggu pada kedalaman 5500 m

6. Crush strength : tidak merusak bentuk dari selubung pipa tembaga dan tanpa menghasilkan peningkatan rugi-rugi optik dari crush strength dari 9.8 kN/10 cm.

⁴⁵ PT. Telekomunikasi Indonesia & KDD Submarine Cable System Inc. & Tomen Cooperation, Op Cit hal 5.5.

3.5.3.2 Karakteristik Elektrik

Karakteristik elektrik kabel laut serat optik terutama ditujukan pada lapisan selubung konduktor catu daya repeater. Terdapat empat kriteria utama yang harus diperhatikan untuk memenuhi persyaratan karakteristik elektrik yang harus dimiliki kabel laut serat optik. Yaitu resistansi DC kabel, resistansi isolasi kabel, kapasitansi DC kabel antara selubung konduktor catu daya repeater dengan tanah dan tegangan maksimum yang masih dapat diatasi kabel tanpa mengalami kerusakan.

Karakteristik elektriknya adalah sebagai berikut⁴⁶ :

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1. Daya tahan penyekat | Lebih dari $2 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{km}$ setelah penerapan dari 0.5 kV DC antara selubung pipa tembaga dan bumi selama 5 menit atau lebih. |
| 2. Hambatan DC | |
| Kabel LW, LWS | Lebih kecil dari $0.8 \Omega/\text{km}$ (20°C) dengan koefisien temperatur $0.004 / ^\circ \text{C}$ |
| Kabel SAL, SAM, DA | Lebih kecil dari $1.10 \Omega/\text{km}$ (20°C) dengan koefisien temperatur $0.004 / ^\circ \text{C}$ |
| 3. Hambatan untuk tegangan tinggi | Kabel menahan 35 kV DC diterapkan antara selubung pipa tembaga dan bumi selama 5 menit. |
| 4. Kapasitansi | |
| Kabel LW, LWS | Nominal 170 nF/km |
| Kabel SAL, SAM, DA | Nominal 190 nF/km |

⁴⁶ Ibid, hal 5.5.

Kekuatan regangan dari terminasi kabel didesain paling tidak 90% dari beban kerusakan minimum kabel kecuali tipe kabel DA.

3.5.3.3 Karakteristik Optik

Serat optik yang digunakan secara khusus telah ditentukan menggunakan serat optik jenis single mode dengan bahan dasar gelas silika (SiO_2). Salah satu keunggulan karakteristik serat optik jenis ini adalah memiliki redaman transmisi rendah dan dispersi minimum pada satu kawasan panjang gelombang 1558.5 nm.

Redaman transmisi serat optik total yang dimiliki diisyaratkan $\leq 0,5$ dB/km, meliputi redaman yang disebabkan karena faktor penyerapan, hamburan maupun pembengkokan. Persyaratan karakteristik dispersi minimum yang diinginkan sebesar $\leq 3,5$ ps/nm.km, hal ini berkaitan dengan persyaratan bandwidth transmisi serat optik yang dimiliki. Dimana pada umumnya lebar selubung pipa frekuensi yang dimiliki serat optik cukup lebar. Berikut merupakan karakteristik optik dari kabel laut yang digunakan⁴⁷:

1. Redaman : Tidak lebih dari 0.23 dB/km pada 1558.5 nm
Harga ini termasuk rugi-rugi splices dalam panjang penghantaran.
2. Dispersi Chromatic : sebesar ± 3.0 ps / km.nm pada panjang gelombang 1563 nm.
3. Variasi dari redaman : Tidak lebih dari 0.01 dB/km pada panjang gelombang 1550 nm dengan temperatur (-10 ° C sampai 40 ° C)

⁴⁷ Ibid, hal 5.6.

Karakteristik mekanik dan elektrik dari terminasi kabel adalah sebagai berikut :

- | | |
|--|--|
| 1. Beban kerusakan minimum | Lebih kecil dari 90% dari beban kerusakan minimum kabel |
| 2. Radius pembengkokan minimum | 1.5 meter |
| 3. Daya tahan tekanan air | Lebih dari 78 Mpa |
| 4. Daya tahan penyekat | Lebih dari $1 \times 10^{12} \Omega$ setelah penerapan dari 0.5 kV DC antara pipa tembaga dan bumi selama 1 menit. |
| 5. Daya tahan terhadap tegangan tinggi | Terminasi kabel menahan 16 kV DC diterapkan antara pipa tembaga dan bumi selama 1 menit. |

Kabel penyambungan (cable joint) dan reparasi

Kekuatan regangan dari kabel joint box didesain untuk paling tidak 90% dari beban kerusakan minimum kabel kecuali tipe kabel DA. Karakteristik mekanik dan elektrik dari joint box untuk kabel laut adalah sebagai berikut⁴⁸ :

- | | |
|--------------------------------|--|
| a. Beban kerusakan minimum * | Tidak lebih kecil dari 90% dari kabel induk |
| | * Pada kasus tipe kabel DA hanya lapisan lebih dalam dari 5 mm kawat berpelindung dijangkar, sehingga kerusakan bebannya sendiri sama seperti pada tipe kabel SAM. |
| b. Radius pembengkokan minimum | 1.5 meter |
| c. Pembengkokan balik | Untuk menahan 30 pembengkan balik |

⁴⁸ Ibid, hal 5.6

-
- | | |
|--|---|
| | dengan radius 1.5 meter |
| d. Daya tahan tekanan air | Lebih dari 78 Mpa |
| e. Daya tahan penyekat | Lebih dari 1×10 setelah penerapan dari 0.5 kV DC antara pipa tembaga dan bumi selama 1 menit |
| f. Daya tahan terhadap tegangan tinggi | joint box menahan 16kV DC diterapkan antara pipa tembaga dan bumi selama 1 menit. |

BAB IV

IMPLEMENTASI SISTEM KOMUNIKASI KABEL LAUT (SKKL) SERAT OPTIK ANTARA SURABAYA - BANJARMASIN - UJUNG PANDANG

4.1 Pemilihan Rute Kabel

Pemilihan tempat peletakan kabel merupakan perhatian utama dari perencanaan sistem komunikasi kabel laut untuk menjaga keandalan peralatan bawah laut yang ditempatkan, dengan cara seminimal mungkin memperkecil dan mengurangi bahaya atau gangguan yang mungkin terjadi. Pemilihan rute lokasi dimana kabel laut serat optik akan ditempatkan, dipilih sedemikian rupa sejauh mungkin menghindari daerah dimana aktifitas kegiatan alam maupun manusia banyak dilakukan.

Tempat peletakan kabel dimana peralatan terminal kabel akan diletakkan harus dalam kondisi aman untuk konstruksi, perawatan dan operasi dari sistem kabel laut. Berikut merupakan faktor umum yang harus dipertimbangkan.⁴⁹

- a. Pantai terbuka dengan pasir yang cocok untuk operasi peletakan kabel
- b. Dihindari daerah yang merupakan sebagai aktifitas perikanan, kapal laut bersandar dengan melemparkan jangkar dan pertambangan
- c. Pantai laut yang bebas dari karang atau penghalang lainnya dimana kapal kabel dapat dengan mudah menepi ke pantai
- d. Hubungan harus tersedia tanpa mengalami kesulitan ke sistem telekomunikasi domestik yang stabil, kualitas rangkaian yang tinggi.
- e. Harus tidak ada sumber gelombang radio di sekitar site yang dapat mempengaruhi rangkaian telekomunikasi

⁴⁹ S. Shimura, Op. Cit hal 205

- f. Penyaluran daya harus tersedia dengan stabil
- g. Tersedianya sarana transportasi untuk mengantarkan material dan peralatan untuk konstruksi site

Pada tahap awal pemilihan rute pemasangan atau penempatan kabel laut serat optik, dilakukan suatu survey kondisi laut dimana kabel laut serat optik akan dipasang atau ditempatkan terlebih dahulu. Survey kondisi laut dilakukan untuk mengumpulkan data-data yang diperlukan dalam tahap perencanaan. Data-data yang dikumpulkan pada saat survey kondisi laut biasanya meliputi⁸⁰:

- Kondisi topografi dan kedalaman laut
- Kondisi struktur dan batuan permukaan dasar laut
- Arus dan temperatur dasar laut
- Lokasi dimana aktifitas alam banyak terjadi, seperti daerah gempa bumi
- Lokasi dimana aktifitas manusia banyak dilakukan, seperti pertambangan lepas pantai, penangkapan ikan dan pelayaran.

Data-data hasil survey kondisi laut yang dilakukan merupakan informasi yang sangat penting dan berguna untuk menentukan pemilihan rute kabel laut serat optik yang akan dipasang atau ditempatkan, jenis kabel laut serat optik serta jenis pelindung (armored) yang akan digunakan dan cara pemasangan atau penempatan kabel laut serat optik yang akan dilakukan sepanjang rute yang telah dipilih.

Berdasarkan data-data yang diperoleh, tahap perencanaan dapat dilakukan dengan tepat dan sesuai dengan kondisi dimana sistem akan ditempatkan. Sedangkan untuk persyaratan untuk rute kabel harus diperhatikan sistem ekonomi dan perlindungan kabel antara lain :

⁸⁰ Ibid, hal 207

- a. Jarak rute antara tempat peletakan sependek mungkin.
- b. Daerah dimana pencarian ikan dan pelemparan jangkar kapal sering terjadi, terutama pada kedalaman air lebih rendah dari 500 m harus sependek mungkin
- c. Dasar laut yang dipilih adalah yang berpasir atau berlumpur, sedangkan untuk daerah berkarang dihindari
- d. Daerah dimana kabel dapat mengalami kerusakan setelah peletakan kabel harus dihindari, misalnya daerah kapal melempar jangkar, pelabuhan, sekitar gunung berapi di laut
- e. Daerah yang terlalu dalam (lebih dari 6000 m) dimana kabel sulit untuk diperbaiki harus dihindari
- f. Dipilih dasar laut yang datar dan jauh dari gunung berapi di laut atau lembah dengan lereng lebih dari 20 derajat. Peletakan kabel secara horisontal melewati sebuah lereng harus dihindari.
- g. Titik Alter Countour (AC) dipilih dengan sudut course lebih kecil dari 30 derajat
- h. Di mana dua kabel diletakkan berdekatan satu sama lainnya harus mempunyai jarak yang cukup untuk dapat diperbaiki tanpa menyebabkan kerusakan satu sama lain. Di mana dua kabel memotong satu sama lain, penyeberangan harus dibuat pada sudut yang tepat dan pada titik yang jauh dari repeater.
- i. Rute kabel harus ditentukan untuk meninggalkan jarak tertentu sehingga pada masa mendatang kabel dapat ditambahkan

4.2 Lokasi survey

Survey SKKL antara Surabaya-Ujung Pandang - Banjarmasin pada dasarnya adalah memilih rute kabel yang berdasarkan data-data hasil survey agar didapat rute yang baik secara teknis maupun ekonomis, untuk instalasi kabel laut serat optik bersama

peralatan repeater. Menurut hasil survey kabel laut serat optik antara Surabaya - Ujung Pandang - Banjarmasin menempuh jarak kurang lebih 1950 km. Dimana rute kabel serat optik membentuk segitiga antara Banyu Urip (Jawa Timur) - Kalukubodoa (Sulawesi Selatan) - Takisung (Kalimantan Selatan). Rute kabel serat optik antara Surabaya - Ujung Pandang - Banjarmasin dibagi dalam 3 (tiga) sistem yaitu:

1. Sistem I antara Surabaya - Ujung Pandang dengan jarak kurang lebih 862 km, yang dibagi dalam 13 way point atau 13 Alter Countour.
2. Sistem II antara Ujung Pandang - Banjarmasin dengan jarak kurang lebih 658 km, yang dibagi dalam 12 way point atau 13 Alter Countour.
3. Sistem III antara Banjarmasin - Surabaya dengan jarak kurang lebih 427 km, yang dibagi dalam 8 way point atau 8 Alter Countour.

Tabel 4.1⁵¹ Sistem I (Surabaya -Ujung Pandang)

POSISI	PERKIRAAN KEDALAMAN (m)	JARAK RUTE TOTAL (KM)	PANJANG KABEL TOTAL (KM)	TIPE KABEL
Ujung Pangkah	-			
WD 20 m	20	7.612	7.726	DA
A/C-1	43	17.382	17.643	DA
A/C-2	55	47.209	47.917	DA/SAM
A/C-3	63	75.729	76.865	SAM
A/C-4	64	107.207	108.815	SAM
A/C-5	68	149.974	152.223	SAM
A/C-6	65	352.896	358.189	SAM
WD 200 m	200	504.894	512.467	SAM
A/C-7	450	504.760	532.631	SAM
A/C-8	284	613.778	622.984	SAM
A/C-9	240	637.058	646.614	SAM
A/C-10	550	734.330	745.345	SAM
A/C-11	970	756.661	768.011	SAM
A/C-12	420	815.100	827.326	SAM
WD 200 m	200	820.938	833.252	SAM
WD 20 m	20	854.004	866.814	DA/SAM
A/C-13	18	856.654	869.504	DA
Kalukubodoa LP	-	861.241	874.159	DA

⁵¹ PT Trirech Consult, Laporan hasil survey SKKL, hal 6.

Dari tabel 4.1 dapat dilihat bahwa pemilihan jenis kabel untuk sistem I (Surabaya-Ujung Pandang) didasarkan pada kedalaman laut maka jenis kabel yang digunakan akan berbeda pula. Pada sistem I yang terdiri Alter Countour (AC) sebanyak 13 (tigabelas) maka pada AC-3 sampai AC-12 menggunakan jenis kabel SAM (Single Armored Medium) untuk menghindari kemungkinan kerusakan akibat aktifitas sekitarnya. Sedangkan untuk AC-1 ke landing point dan AC-13 ke landing point menggunakan jenis kabel DA (Double Armored) karena kemungkinan gangguan kerusakan lebih besar maka diperlukan pelindung yang lebih kuat, sedangkan untuk AC-2 dan WD 20 m dapat digunakan salah satu dari jenis kabel disesuaikan dengan keadaan sekitarnya untuk melakukan pemilihan, misalnya dekat daerah pelabuhan maka cenderung memakai DA.

Tabel 4.2⁵² Sistem II (Ujung Pandang-Banjarmasin)

POSISI	PERKIRAAN KEDALAMAN (m)	JARAK RUTE TOTAL (KM)	PANJANG KABEL TOTAL (KM)	TIPE KABEL
Kalukubodoa LP	-			
A/C-1	15	4.827	4.899	DA
WD 20 m	20	6.755	6.856	DA
WD 200 m	200	37.183	37.740	DA/SAM
A/C-2	300	46.272	46.966	SAM
A/C-3	890	107.161	108.768	SAM
A/C-4	300	261.667	265.592	SAM
WD 200 m	200	262.592	266.530	SAM
A/C-5	65	287.270	291.579	SAM
A/C-6	38	332.505	337.492	SAM
A/C-7	120	372.916	378.509	SAM
A/C-8	29	568.459	576.985	SAM
A/C-9	28	580.940	589.654	SAM
A/C-10	25	598.930	607.914	SAM
A/C-11	21	637.264	646.823	DA/SAM
WD 20 m	20	640.531	650.139	DA
A/C-12	18	643.622	653.276	DA
Takisung LP	-	658.147	668.019	DA

⁵² Ibid, hal 7.

Pada sistem II (Ujung Pandang-Banjarmasin), A/C-2 sampai A/C 10 menggunakan jenis kabel SAM, untuk A/C-1 sampai WD 20 m dan WD 20 m sampai dengan landing point Takisung menggunakan jenis kabel DA. Sedangkan untuk WD 200 m dan A/C-11 dapat memilih salah satu dari jenis kabel yakni kabel SAM atau DA disesuaikan dengan keadaan sekitarnya.

Tabel 4.3⁵³ Sistem III (Banjarmasin-Surabaya)

POSISI	PERKIRAAN KEDALAMAN (m)	JARAK RUTE (Km) TOTAL	PANJANG KABEL (Km) TOTAL	TIPE KABEL
Takisung LP	-			
WD 20 m	20	13.137	13.334	DA
A/C-1	23	14.262	14.476	DA/SAM
A/C-2	27	19.399	19.690	SAM
A/C-3	27	48.992	49.727	SAM
A/C-4	46	174.526	177.144	SAM
A/C-5	73	240.017	243.617	SAM
A/C-6	63	350.805	356.067	SAM
A/C-7	59	376.687	382.337	SAM
A/C-8	41	409.752	415.898	DA/SAM
WD 20 m	20	419.705	426.001	DA
Ujung Pangkah LP	-	427.127	433.534	DA

Begitu pula untuk sistem III (Banjarmasin-Surabaya) pemilihan jenis kabel berdasarkan pada kedalaman laut untuk A/C-2 sampai A/C-7 menggunakan kabel dengan jenis SAM, sedangkan dari landing point Takisung sampai WD 20 m dan WD 20 m sampai landing point Ujung Pangkah menggunakan kabel dengan jenis DA serta untuk A/C-1 dan A/C-8 dapat memilih salah satu dari jenis kabel yang digunakan.

4.3 Umur dan Keandalan Sistem

Pada SKKL serat optik mampu beroperasi untuk jangka waktu yang relatif lama yakni selama ± 25 tahun. Batasan umur pakai sistem ditentukan dari komponen-

⁵³ Ibid, hal 8.

komponen pembentuk sistem tersebut misalnya komponen sumber optik LD dan detektor APD yang digunakan pada perangkat terminal serta ketahanan kabel laut yang digunakan dari keausan akibat pengaruh korosi yang terjadi pada lingkungan dasar laut.

Keandalan sistem yang dimiliki harus tinggi dan terjamin, karena pada SKKL serat optik setiap kerusakan atau kesalahan sistem yang terjadi, tidak dengan mudah untuk diperbaiki, terutama kerusakan atau kesalahan pada peralatan bawah laut, meskipun dapat dengan mudah dideteksi melalui LMS.

4.3 1 Keandalan Peralatan Bawah Laut

Untuk mendapatkan keandalan yang tinggi pada sistem bawah laut maka penggunaan repeater harus seminimal mungkin. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan kabel laut serat optik jenis single mode DSF (Dispersion Shift Fiber) karena memiliki redaman transmisi perkilometer yang rendah dan penggunaan sumber optik LD yang memiliki daya keluaran optik yang cukup besar. Dengan kombinasi keduanya akan memberikan hasil jarak bentang repeater yang jauh sehingga penggunaan repeater dapat seminimal mungkin. Selain itu yang perlu diperhatikan untuk mendapatkan keandalan yang tinggi adalah dengan digunakannya kabel yang diberi pelindung dengan kawat baja dan dapat ditanam untuk daerah perairan dangkal yang rawan gangguan yang dapat mengakibatkan kerusakan kabel. Rute kabel dipilih dengan hati-hati untuk meminimalkan resiko kerusakan dari aktivitas pelayaran dan kerusakan kabel karena faktor ekstrinsik.

Untuk memperoleh availability yang tinggi, perangkat bawah laut mempunyai kemampuan self-healing dan berisi elemen-elemen yang tidak mempunyai switch yang dapat memberikan sumbangan untuk terjadinya unavailability. Pengawasan sistem termasuk pengawasan komponen pada peralatan bawah laut juga didesain sehingga tidak

mempengaruhi availability. Sedangkan keandalan sistem penguat optik dalam repeater antara lain :

- Sederhana, kecepatan elektronik yang rendah
- Pompa laser tidak mempengaruhi pada keandalan sistem, lebih sederhana dari transmisi laser dan kualitas cahaya tidak kritikal serta disediakannya redundansi pompa laser
- Seluruh komponennya adalah komponen pasif

Tabel 4.4⁵⁴ Alokasi FIT pada subsistem Repeater

Blok	Laju kegagalan per 1 Amplifier	Laju kegagalan per 2 Amplifier	Laju kegagalan per 3 Amplifier
Blok Gain 1. Erbium-Doped Fiber 2. WDM Coupler 3. Isolator	1,8 FIT/blok	3,6 FIT	5,4 FIT
Blok Pompa 1. Sepasang modul LD 2. 3 dB Coupler 3. Pengontrol Pompa 4. Dioda zener	4,3 FIT/Blok	8,6 FIT	12,9 FIT
Blok output 1. Loopback Line Coupler 2. Loopback Path Coupler	0,8 FIT/Blok	1,6 FIT	2,4 FIT
Rangkaian Daya 1. Surge Protection Circuit	0,6 FIT/Rcp	0,6 FIT	0,6 FIT
Lain-lain 1. Integritas mekanik 2. Kopling kabel 3. Kabel 4. Power Path	0,3 FIT/Span	0,3 FIT	0,3 FIT
Total FIT per Repeater Span	7,8 FIT	14,7 FIT	21,6 FIT

Keandalan sistem yang diinginkan diimplementasikan pada setiap perangkat dan komponen penyusun sistem secara spesifik dalam FIT (Failure in Times) yakni toleransi 1 (satu) kesalahan yang diperbolehkan terjadi selama jangka waktu 10^9 jam operasi sistem.

⁵⁴ PT Telekomunikasi, Op Cit, hal 4.1.

Dari tabel dapat diketahui bahwa untuk repeater dengan 1 (satu) pasang amplifier akan memiliki FIT total per repeater span sebesar 7,8 yang maksudnya kerusakan yang diperbolehkan terjadi pada perangkat repeater selama 10^9 jam operasi sistem, maksimal sebanyak 7,8 kali. Kerusakan yang terjadi disebabkan karena faktor operasional kerja komponen dan bukan berasal dari faktor luar sistem.

Pada sistem ini disediakan sepasang serat optik cadangan (protection fiber pair) dalam kondisi siaga untuk setiap 2 (dua) buah serat optik operasional utama. Apabila salah satu serat optik utama mengalami kerusakan dan tidak dapat digunakan untuk mengirimkan sinyal informasi dari sisi stasiun terminal pengirim ke sisi stasiun terminal penerima, maka serat optik cadangan secara otomatis akan langsung digunakan sebagai saluran transmisi pengganti selain itu juga dapat digunakan untuk pengalihan trafik yang berlebihan.

4.3.2 Keandalan Peralatan Terminal

Keandalan peralatan terminal disyaratkan untuk dapat menjamin sistem beroperasi secara optimal tanpa mengalami kerusakan atau kesalahan berdasarkan kesiapan peralatan mengantisipasi kesalahan atau kerusakan yang terjadi pada saat sistem beroperasi maupun pada saat sistem tidak beroperasi.

Keandalan peralatan transmisi (TTE) dengan menggunakan komponen APD sebagai detektor optik yang memiliki kemampuan operasi kerja relatif tahan lama dan tahan terhadap pengaruh perubahan temperatur lingkungan kerja yang cukup tinggi. Sedangkan untuk komponen sumber optik digunakan komponen LD karena memiliki daya output yang cukup besar terhadap perubahan arus drive yang relatif kecil dan tahan terhadap pengaruh perubahan temperatur lingkungan yang cukup tinggi. Selain itu untuk mendapatkan keandalan perangkat terminal yang cukup tinggi dilakukan redundansi

komponen-komponen transmisi optik seperti LD dan APD sebagai sistem redundansi pada setiap peralatan transmisi kedua sisi stasiun terminal. Peralatan terminal ini didesain untuk memaksimalkan availability sistem dengan pengoptimasian arsitektur terminal dan penyediaan redundansi subsistem terminal serta perlindungan pensaklaran secara tepat.

Peralatan catu daya repeater (PFE) merupakan peralatan utama pendukung sistem bawah laut yang keandalannya sangat diperlukan untuk menjamin operasi sistem dengan cara menyediakan peralatan PFE cadangan sebagai sistem redundansi. Peralatan PFE ditempatkan pada setiap sisi terminal sistem dengan dilengkapi dengan beberapa peralatan proteksi dan pengaman untuk melindungi operasi kerja dari kondisi berbahaya seperti proteksi terhadap kemungkinan terjadinya tegangan lebih (overvoltage) maupun arus lebih (overcurrent) serta kondisi kerja abnormal lainnya.

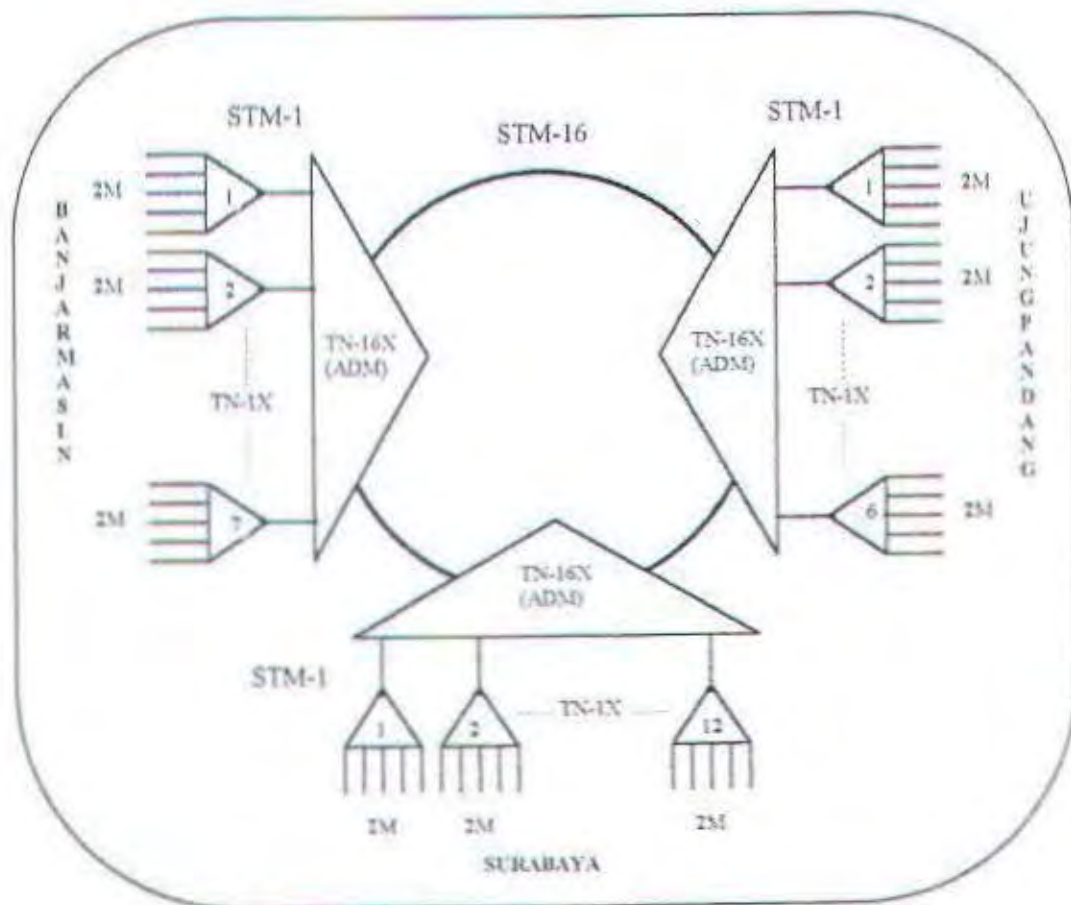
Waktu keausan (outage) yang disumbangkan TTE adalah⁵⁵ sekitar 1 menit/tahun termasuk kedua stasiun dengan MTTR 1 jam. Sedangkan untuk PFE memiliki waktu keausan sekitar 2,5 menit/tahun dengan MTTR 4 jam. Total outage yang diperkirakan TTE dan PFE tanpa repeater sekitar 3,5 menit/tahun dengan penotalan perkiraan individu dari TTE dan PFE.

4.4 Sistem Jaringan

Dalam sistem SKKL Surabaya-Ujung Pandang-Banjarmasin ini menggunakan jaringan berbentuk ring (cincin) dengan menggunakan sistem SDH (ADM & MUX). Penggunaan SDH mempunyai keuntungan dalam routing, monitoring dan kontrol informasi yang dilewatkan melalui trafik. ADM dapat melakukan drop off maupun drop insert pada stasiun terminal serta dapat membangun fasilitas ring protection yang

⁵⁵ Ibid, hal 4.7

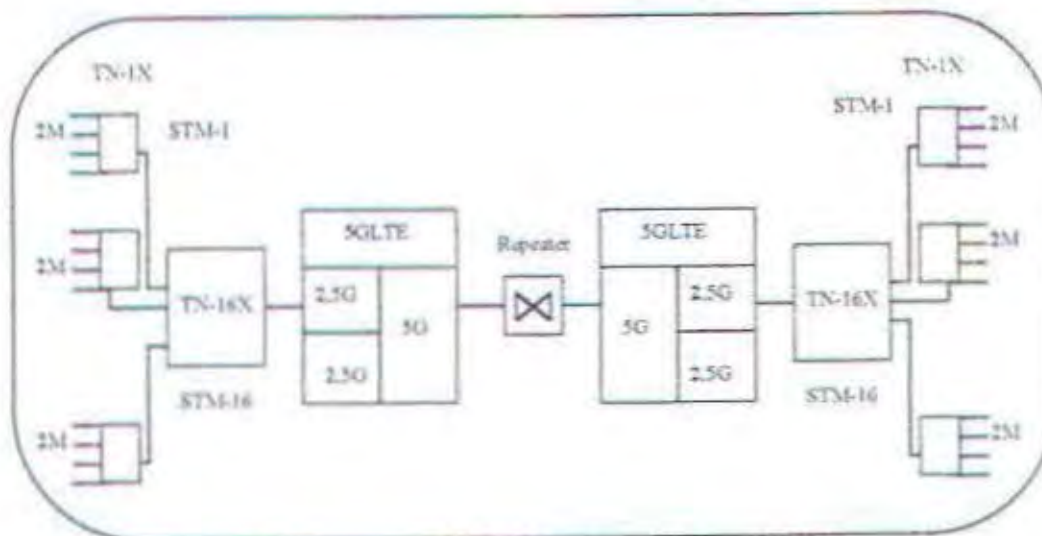
membolehkan jaringan konstruksi dengan ketersediaan trafik yang tinggi. Dengan menawarkan diversity (keragaman) rute kabel dengan menghubungkan 4 (empat) kabel dalam ring loop tertutup, trafik ditransmisikan melalui jalur redundansi yang dipilih secara otomatis menggantikan trafik yang terganggu pada rute in-service yang dikarenakan kondisi kegagalan. Fungsi proteksi pada ring dapat dijelaskan pada gambar, apabila hubungan antara Banjarmasin dan Ujung Pandang terganggu maka akan trafik akan dilewatkan melalui jalur Surabaya ke Ujung Pandang.



Gambar 4.1 Jaringan SDH (ADM & MUX)

Sedangkan untuk sistem multiplexing dan demultiplexing ini hanya terjadi pada peralatan terminal (TTE) saja, dimana pada proses multiplexing data yang berasal dari exchange yang terdiri dari beberapa level sinyal 2 Mbit/s dihubungkan ke TN-1X untuk

dimultiplexing melalui teknik STM-1, beberapa level sinyal dari 2 Mbit/s yang dimultiplexing akan ditingkatkan menjadi 155,5 Mbit/s yang merupakan keluaran dari STM-1, kemudian beberapa level sinyal dengan kecepatan 155,6 Mbit/s dilewatkan ke TN-16X dengan menggunakan STM-16 dilakukan fungsi multiplex Add and Drop untuk dimultiplex lagi sehingga kecepatan laju bitnya menjadi 2,5 Gbit/s, level sinyal dengan laju sebesar 2,5 Gbit/s dilewatkan ke 5GLTE untuk menyusun sinyal 2 x STM-16 ke dalam 5 Gbit/s untuk ditransmisikan ke serat optik dengan laju bit sebesar 5 Gbit/s. Sedangkan untuk demultiplexing menggunakan langkah sebaliknya dimana data dari 5 Gbit/s diturunkan (drop) melalui 5GLTE menjadi 2,5 Gbit/s, diturunkan lagi lewat STM-16 menjadi 155,5 Mbit/s dan didemultiplexkan ke STM-1 sehingga menjadi 2 Mbits untuk disalurkan ke exchange.



Gambar 4.2 Konfigurasi sub jaringan

4.5 Perhitungan Anggaran Daya

Tujuan utama Perhitungan Anggaran Daya adalah untuk memperhitungkan besarnya daya minimum yang masih dapat diterima oleh detektor optik. Dalam hal ini pemilihan jenis sumber optik dan detektor optik akan menentukan besarnya selisih daya

yang didapat. Selain itu perhitungan anggaran daya dapat dilakukan untuk menentukan atau menghitung jarak maksimum yang dapat dicapai oleh sistem transmisi yang telah dipilih. Berikut adalah persamaan untuk perhitungan anggaran daya⁵⁶:

$$(Output Pemancar) - (Sensitivitas Penerima) = (\sum Rugi-rugi) - Margin \quad (4.1)$$

$$P_T - P_R = (\sum Rugi-rugi) - Margin$$

$$P_S = P_T - P_R$$

$$P_S = 2 a_c + a_f L_{tot} + n a_s + m_o$$

di mana :

n = jumlah sambungan splice

m_o = margin sistem yang ditambahkan

a_f = redaman optik (dB/km)

(dB)

P_T = daya output sumber optik (dBm)

P_R = sensitifitas daya minimum detektor

P_S = perhitungan anggaran daya (dB)

optik (dBm)

a_s = redaman penyambungan splice (dB)

L_{tot} = jarak yang dapat dicapai oleh

a_c = redaman penyambungan konektor

sistem transmisi (km)

(dB)

Daya output sumber optik (P_T) yang turut diperhitungkan adalah besarnya daya sumber optik yang dikoplingkan ke dalam serat optik. Sumber optik yang digunakan pada SKKL serat optik Surabaya - Ujung Pandang - Banjarmasin ini adalah LD (Laser Diode) dengan kopling daya output relatif cukup besar. Sensitivitas daya minimum detektor optik (P_R) ditentukan oleh jenis detektor optik. Detektor optik yang digunakan pada SKKL serat optik adalah jenis APD (Avalanche Photodiode).

⁵⁶ Tsong-Ho Wu, Fiber Network Service Survivability, Artech House, Norwood, hal 27.

4.5.1 Perhitungan Jarak Antar Repeater

Dari persamaan (4.1) dapat disederhanakan untuk dapat melakukan perhitungan jarak antar repeater dengan data yang diperlukan untuk perhitungan jarak antar repeater

- Level output repeater : 6,15 dBm
- Level penerimaan minimum : - 14,75 dBm
- Rugi-rugi kabel : 0,21 dB/km
- Rugi-rugi konektor : 0,5 dB

$$P_s = P_T - P_R$$

$$= 2lc + \alpha_f L$$

$$L = \frac{[P_T - P_R - 2lc]}{\alpha_f}$$

$$L = \frac{[6,15 - (-14,75) - 2(0,5)]}{0,21}$$

$$= 94,76 \text{ km} \approx 95 \text{ km}$$

Dari perhitungan didapatkan bahwa jarak antar repeater dapat dicapai sejauh 95 km dengan mengabaikan margin yang ada karena dalam repeater berpenguat optik (Optical Amplified Repeater) memiliki suatu keunggulan yaitu self-healing yang berupa kemampuan untuk memperbaiki daya yang turun melalui gain compression dengan melihat karakteristik kerja dari repeater itu sendiri yang dapat dilihat pada bab III, sehingga margin dapat diabaikan serta splice tidak turut dalam perhitungan karena kabel laut serat optik didesain dengan panjang yang tanpa memiliki splice disesuaikan dengan berapa panjang kabel laut yang dibutuhkan.

4.5.2 Penentuan Jumlah Repeater

Dengan diperolehnya jarak antar repeater, maka dapat dihitung jumlah repeater yang akan digunakan pada sistem. Untuk perhitungan jumlah repeater yang dibutuhkan digunakan rumusan berikut ini³⁷.

$$\frac{\text{Panjang total kabel (S)}}{\text{Jarak antar repeater (L)}} = \text{Bilangan bulat (N)} + \text{Bilangan pecahan (n)}$$

Bilangan bulat (N) menunjukkan jumlah repeater yang dibutuhkan untuk jarak repeater normal, dan (N) + 1 menunjukkan jumlah repeater untuk sistem. Bilangan pecahan (n) menunjukkan perbandingan panjang kabel yang dialokasikan pada kedua tepi pantai. Panjang yang sebenarnya diperoleh dengan mengalikan bilangan pecahan (n) dengan panjang repeater (L). Biasanya (n) x (L) dialokasikan sebesar setengah pada masing-masing tepi pantai. Bila (n) x (L) sangat pendek, jumlah repeater dapat dikurangi satu. Untuk kasus ini (n+1) x (L) dapat dialokasikan pada kedua sisi pantai. Perlu diperhatikan pula realokasi panjang kabel sisi pantai ini tidak boleh melebihi panjang sisi pantai maksimum.

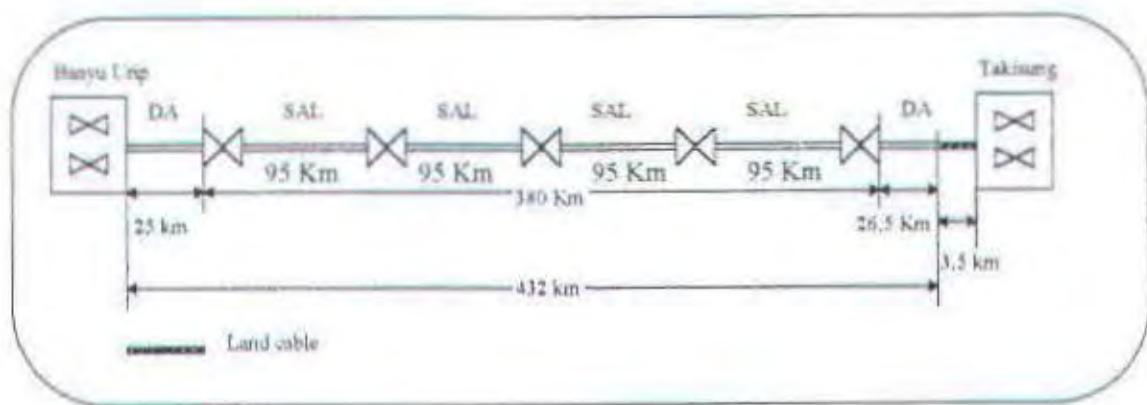
Dengan menggunakan rumusan di atas, maka untuk sistem III Surabaya - Banjarmasin dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut :

1. Panjang total kabel (S)	: 432 km
2. Panjang jarak antar repeater (L)	: 95 km
3. Bilangan bulat (N) dari (S) / (L)	: 4
4. Bilangan pecahan (n) dari (S) / (L)	: 0,547
5. Panjang total yang dialokasikan pada kedua sisi (L) x (n)	: 51,965 km

³⁷ Basic planning of submersible plant, Op Cit hal 8.

- | | |
|--|-----------|
| 6. Panjang kabel tepi pantai di Banyu Urip | : 25 km |
| 7. Panjang kabel tepi pantai di Takisung | : 26,5 km |

Jadi untuk sistem Banyu Urip - Takisung terdiri dari $(N) + 1$ repeater yaitu 5 repeater (4 normal repeater spacing). Dan panjang kabel tepi pantai sejauh 25 km dari Banyu Urip dan 26,5 km dari Takisung.

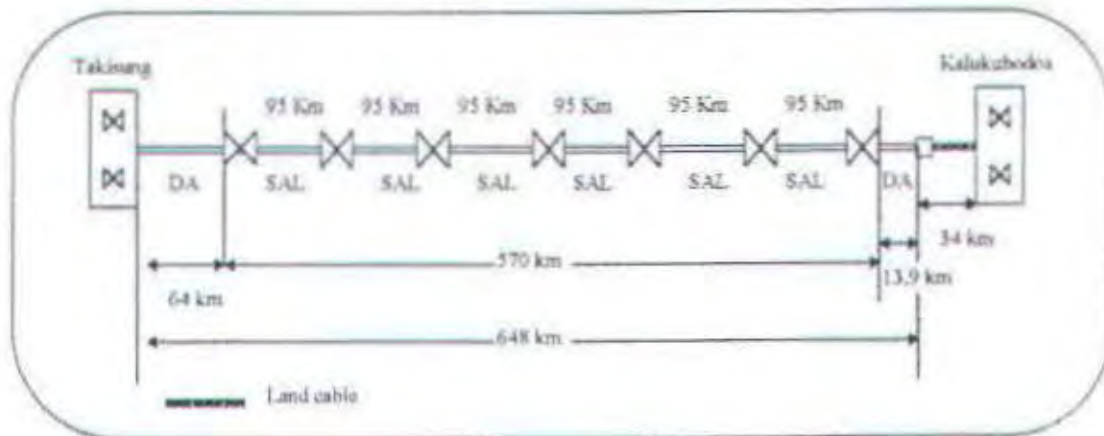


Gambar 4.3 Sistem III (Surabaya - Banjarmasin)

Sedangkan untuk sistem II Banjarmasin (Takisung) - Ujung Pandang dengan data yang ada maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut ;

- | | |
|--|-------------|
| 1. Panjang total kabel (S) | : 648 km |
| 2. Panjang jarak antar repeater (L) | : 95 km |
| 3. Bilangan bulat (N) dari (S) / (L) | : 6 |
| 4. Bilangan pecahan (n) dari (S) / (L) | : 0,821 |
| 5. Panjang total yang dialokasikan pada kedua sisi (L) x (n) | : 77,995 km |
| 6. Panjang kabel tepi pantai di Ujung Pandang | : 13,9 km |
| 7. Panjang kabel tepi pantai di Takisung | : 64 km |

Maka untuk sistem Ujung Pandang - Takisung terdiri dari $(N) + 1$ repeater yaitu 7 repeater (6 normal repeater spacing). Dan panjang kabel tepi pantai sejauh 13,9 km dari Ujung Pandang serta 64 km dari Takisung.

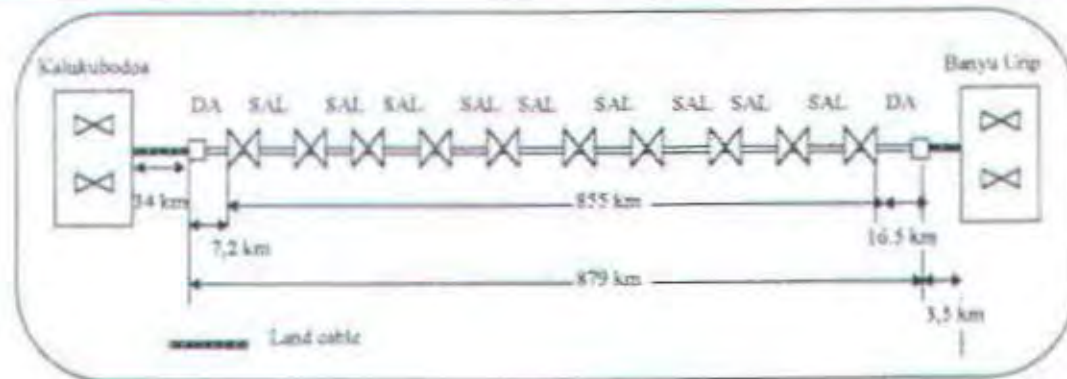


Gambar 4.4 Sistem II (Banjarmasin - Ujung Pandang)

Dan untuk sistem I Ujung Pandang - Surabaya (Banyu Urip) dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut :

- | | |
|--|------------|
| 1. Panjang total kabel (S) | : 879 km |
| 2. Panjang jarak antar repeater (L) | : 95 km |
| 3. Bilangan bulat (N) dari (S) / (L) | : 9 |
| 4. Bilangan pecahan (n) dari (S) / (L) | : 0,252 |
| 5. Panjang total yang dialokasikan pada kedua sisi (L) x (n) | : 23,94 km |
| 6. Panjang kabel tepi pantai di Banyu Urip | : 16,5 km |
| 7. Panjang kabel tepi pantai di Ujung Pandang | : 7,2 km |

Jadi untuk sistem Banyu Urip - Ujung Pandang terdiri dari $(N) + 1$ repeater yaitu 10 repeater (9 normal repeater spacing). Dan panjang kabel dari tepi pantai sejauh 16,5 km di Banyu Urip dan 7,2 km dari Ujung Pandang.



Gambar 4.5 Sistem I (Ujung Pandang - Surabaya)

4.5.3 Perhitungan Anggaran Daya Optik dari Terminal ke Repeater Pertama

Dengan menggunakan persamaan (4.1) dapat pula dilakukan perhitungan anggaran daya optik dari terminal sampai dengan repeater pertama. Hal ini agak berbeda dengan perhitungan pada antar repeater, karena jumlah komponen yang membentuk jalur dari terminal ke repeater pertama lebih banyak menggunakan sambungan. Untuk memudahkan perhitungan, maka dibuat tabel untuk tiap sistemnya.

Tabel 4.5 Anggaran Daya Optik untuk Sistem Surabaya - Banjarmasin

Pemancar (Stn ke Rep)			Takisung	Banyu Urip
No	Deskripsi	Unit	Nilai	Nilai
A	Panjang kabel darat	km	0,00	3,50
B	Panjang kabel laut ke repeater 1	km	26,50	25,00
1	Redaman kabel laut / km	dB/km	0,21	0,21
2	Redaman kabel darat / km	dB/km	0,23	0,23
3	Redaman keausan fiber untuk rentang pantai	dB/km	0,01	0,01
4	Rugi-rugi splice / splice	dB	0,20	0,20
5	Rugi-rugi konektor / konektor	dB/kon	0,50	0,50
6	Jumlah splice kabel darat		0,00	3,00
7	Daya input repeater yang dibutuhkan (BOL)	dBm	-14,75	-14,75
8	Daya input repeater yang dibutuhkan (EOL)	dBm	-15,75	-15,75
9	Daya output repeater darat	dBm	-3,00	-3,00
10	Rugi-rugi konektor repeater darat	dB	0,50	0,50
11	Rugi-rugi kabel interoffice	dB	0,10	0,10
12	Rugi-rugi splice CTB	dB	0,20	0,20
13	Rugi-rugi splice kabel darat (Stn ke BM) (no 4 x no 6)	dB	0,00	0,60
14	Rugi-rugi kabel darat (Stn ke BM) (A x no 2)	dB	0,00	0,81
15	Rugi-rugi splice Beach manhole	dB	0,20	0,20
16	Rugi-rugi kabel laut (BM ke rep 1)	dB	5,46	5,15

	(B x no 1 - no 11)			
17	Rugi-rugi kabel keseluruhan (Stn ke rep 1) (B x no 1 + no 14)	dB	5,56	6,06
18	Rugi-rugi konektor & splice keseluruhan (Stn ke rep 1) (no 10 + no 12 + no 13 + no 15)	dB	0,90	1,50
19	Rugi-rugi total antara LTE dan rep 1 (no 17 + no 18)	dB	6,46	7,56
20	Rugi-rugi kabel fiber tambahan ((A+B) x no 3)	dB	0,27	0,29
21	Repair margin	dB	2,00	2,00
22	Total keausan yang diprediksi (no 20 + no 21)	dB	2,27	2,29
23	Daya input repeater (BOL) (no 9 - no 19)	dBm	-9,46	-10,56
24	Daya input repeater (EOL) (no 9- no 19 - no 22)	dBm	-11,72	-12,84
25	Margin optik EOL (no 24 - no 8)	dB	4,03	2,91

Penerima (rep ke stn)

No	Deskripsi	Unit	Nilai	Nilai
1	Redaman kabel laut / km	dB/km	0,21	0,21
2	Redaman kabel darat / km	dB/km	0,23	0,23
3	Redaman keausan fiber untuk rentang pantai	dB/km	0,01	0,01
4	Dispersi kabel yang diperkenankan	ps/nm	220,00	220,00
5	Rugi-rugi splice / splice	dB	0,20	0,20
6	Rugi-rugi konektor / kon	dB	0,50	0,50
7	jumlah splice kabel darat		0	3
8	Daya output repeater (BOL)	dBm	6,15	6,15
9	Daya output repeater (EOL)	dBm	5,15	5,15
10	Daya input minimum repeater darat	dBm	-12,90	-13,50
11	Daya input maksimum repeater darat	dBm	2,69	1,60
12	Rugi-rugi konektor repeater darat	dB	0,50	0,50
13	Rugi-rugi kabel interoffice	dB	0,10	0,10
14	Rugi-rugi splice CTB	dB	0,20	0,20
15	Rugi-rugi splice kabel darat (Stn ke BM) (no 5 x no 7)	dB	0,00	0,60
16	Rugi-rugi kabel darat (Stn ke BM) (A x 2)	dB	0,00	0,81
17	Rugi-rugi splice beach manhole	dB	0,20	0,20
18	Rugi-rugi kabel laut (BM ke rep 1) (B x no 1 - no 13)	dB	5,46	5,15
19	Rugi-rugi kabel keseluruhan (Stn ke rep 1) (B x no 1 + no 16)	dB	5,56	6,06
20	Rugi-rugi konektor dan splice keseluruhan (Stn ke rep 1) (no 12 + no 14 + no 15 + no 17)	dB	0,90	1,50
21	Rugi-rugi total antara LTE dan rep 1 (no 19 + no 20)	dB	6,46	7,56
22	Rugi-rugi kabel fiber tambahan ((A+B) x no 3)	dB	0,27	0,29
23	Repair margin	dB	2,00	2,00
24	Total keausan yang diprediksi (no 22 + no 23)	dB	2,27	2,29
25	Daya input repeater darat (BOL) (no 8 - no 21)	dBm	-0,31	-1,41
26	Daya input repeater darat (EOL) (no 8 - no 21 - no 24)	dBm	-2,57	-3,69
27	Margin optik EOL (no 26 - no 10)	dB	10,33	9,81

Dari tabel dapat diketahui bahwa A dan B merupakan panjang kabel darat dan laut yang menghubungkan terminal ke repeater pertama sedangkan pada nomor 1 ~ 9 menunjukkan spesifikasi dari peralatan yang digunakan untuk dapat melakukan perhitungan, untuk nomor 10 ~ 16 digunakan untuk menentukan rugi-rugi sambungan dan rugi-rugi kabel, untuk nomor 17 ~ 19 mengenai perhitungan rugi-rugi total antara LTE dan repeater 1, untuk nomor 20 ~ 22 berisikan perhitungan faktor tambahan yaitu keausan yang akan mempengaruhi End of Life dari sistem transmisi, sedangkan nomor 23 ~ 25 mengenai perhitungan End of Life untuk menentukan apakah sudah memenuhi persyaratan sistem transmisi yang besarnya harus lebih besar dari 1 dB. Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa End of Life dari margin optik untuk Takisung adalah 4,03 dB sedangkan untuk Banyu Urip sebesar 2,91 dB, yang keduanya lebih besar dari 1 dB, sehingga hal ini ini memenuhi syarat untuk menjalankan sistem transmisi dari pemancar ke repeater.

Sedangkan untuk sistem penerima (repeater-stasiun) dari tabel di atas dapat diketahui bahwa nomor 1 ~ 11 merupakan spesifikasi dari peralatan, untuk nomor 12 ~ 18 berisikan perhitungan rugi rugi dari peralatan yang digunakan, untuk nomor 19 ~ 21 mengenai perhitungan rugi-rugi total antara LTE sampai repeater 1, untuk nomor 22 ~ 24 merupakan perhitungan tambahan yang akan mempengaruhi End of Life karena faktor keausan, dan yang terakhir nomor 25 ~ 27 mengenai perhitungan End of Life yang menentukan kelayakan anggaran untuk memenuhi syarat sistem transmisi yang besarnya harus lebih besar dari 1 dB. Dari hasil perhitungan akan didapatkan End of Life margin optik dari Takisung sebesar 10,33 dB sedangkan untuk Banyu Urip adalah 9,81 yang memenuhi untuk syarat untuk sistem transmisi.

Tabel 4.6 Anggaran Daya Optik untuk Sistem Banjarmasin - Ujung Pandang

Pemancar (Stn ke Rep)			Takisung	Kalukubodoa
No	Deskripsi	Unit	Nilai	Nilai
A	Panjang kabel darat	km	0,00	34,00
B	Panjang kabel laut ke repeater 1	km	64,00	13,90
1	Redaman kabel laut / km	dB/km	0,21	0,21
2	Redaman kabel darat / km	dB/km	0,23	0,23
3	Redaman keausan fiber untuk rentang pantai	dB/km	0,01	0,01
4	Rugi-rugi splice / splice	dB	0,20	0,20
5	Rugi-rugi konektor / konektor	dB/kon	0,50	0,50
6	Jumlah splice kabel darat		0	17
7	Daya input repeater yang dibutuhkan (BOL)	dBm	-14,75	-14,75
8	Daya input repeater yang dibutuhkan (EOL)	dBm	-15,75	-15,75
9	Daya output repeater darat / LTE	dBm	6,00	3,00
10	Rugi-rugi konektor repeater darat	dB	0,50	0,50
11	Rugi-rugi kabel interoffice	dB	0,10	0,10
12	Rugi-rugi splice CTB	dB	0,20	0,20
13	Rugi-rugi splice kabel darat (Stn ke BM) (no 4 x no 6)	dB	0,00	3,40
14	Rugi-rugi kabel darat (Stn ke BM) (A x no 2)	dB	0,00	7,82
15	Rugi-rugi splice Beach manhole	dB	0,20	0,20
16	Rugi-rugi kabel laut (BM ke rep 1) (B x no 1 - no 11)	dB	13,18	2,86
17	Rugi-rugi kabel keseluruhan (Stn ke rep 1) (B x no 1 + no 14)	dB	13,28	10,78
18	Rugi-rugi konektor & splice keseluruhan (Stn ke rep 1) (no 10 + no 12 + no 13 + no 15)	dB	0,90	4,30
19	Rugi-rugi total antara LTE dan rep 1 (no 17 + no 18)	dB	14,18	15,08
20	Rugi-rugi kabel fiber tambahan ((A + B) x no 3)	dB	0,64	0,48
21	Repair margin	dB	2,00	2,00
22	Total keausan yang diprediksi (no 20 + no 21)	dB	2,64	2,48
23	Daya input repeater (BOL) (no 9 - no 19)	dBm	-8,18	-12,08
24	Daya input repeater (EOL) (no 9 - no 19 - no 22)	dBm	-10,82	-14,56
25	Margin optik EOL (no 24 - no 8)	dB	4,93	1,19

Penerima (rep ke stn)

No	Deskripsi	Unit	Nilai	Nilai
1	Redaman kabel laut / km	dB/km	0,21	0,21
2	Redaman kabel darat / km	dB/km	0,23	0,23
3	Redaman keausan fiber untuk rentang pantai	dB/km	0,01	0,01
4	Dispersi kabel yang diperkenankan	ps/nm	220,00	220,00
5	Rugi-rugi splice / splice	dB	0,20	0,20
6	Rugi-rugi konektor / kon	dB	0,50	0,50
7	jumlah splice kabel darat		0	17
8	Daya output repeater (BOL)	dBm	6,15	6,15
9	Daya output repeater (EOL)	dBm	5,15	5,15
10	Daya input minimum repeater darat / LTE	dBm	-21,90	-25,00
11	Daya input maksimum repeater darat / LTE	dBm	-5,03	-5,00
12	Rugi-rugi konektor repeater darat / LTE	dB	0,50	0,50
13	Rugi-rugi kabel interoffice	dB	0,10	0,10
14	Rugi-rugi splice CTB	dB	0,20	0,20
15	Rugi-rugi splice kabel darat (Stn ke BM)	dB	0,00	3,40

16	(no 5 x no 7) Rugi-rugi kabel darat (Stn ke BM) (A x 2)	dB	0,00	7,82
17	Rugi-rugi splice beach manhole	dB	0,20	0,20
18	Rugi-rugi kabel laut (BM ke rep 1) (B x no 1 - no 13)	dB	13,18	2,86
19	Rugi-rugi kabel keseluruhan (Stn ke rep 1) (B x no 1 - no 16)	dB	13,28	10,78
20	Rugi-rugi konektor dan splice keseluruhan (Stn ke rep 1) (no 12 + no 14 + no 15 + no 17)	dB	0,90	4,30
21	Rugi-rugi total antara LTE dan rep 1 (no 19 + no 20)	dB	14,18	15,08
22	Rugi-rugi kabel fiber tambahan ((A + B) x no 3)	dB	0,64	0,48
23	Repair margin	dB	2,00	2,00
24	Total keausan yang diprediksi (no 22 + no 23)	dB	2,64	2,48
25	Daya input repeater darat / LTE (BOL) (no 8 - no 21)	dBm	-8,03	-8,93
26	Daya input repeater darat / LTE (EOL) (no 8 - no 21 - no 24)	dBm	-10,67	-11,41
27	Margin optik EOL (no 26 - no 10)	dB	11,23	13,59

Pada tabel 4.6 untuk sistem penerima akan didapatkan End of Life margin optik untuk Takisung sebesar 4,93 dB sedangkan untuk Kalukubodoa sebesar 1,19 dB yang keduanya memenuhi syarat untuk sistem transmisi dengan melebihi dari 1 dB. Sedangkan untuk anggaran penerima (repeater ke stasiun) perhitungannya mirip dengan anggaran dari stasiun ke repeater, yang membedakan hanya pada daya repeaternya serta jumlah dari splicenya. Sehingga dari hasil perhitungan akan didapatkan End of Life margin optik dari Takisung sebesar 11,23 dB sedangkan untuk Kalukubodoa sebesar 13,59 yang memenuhi untuk syarat untuk sistem transmisi.

Sama halnya dengan perhitungan sebelumnya untuk pemancar pada tabel 4.7 End of Life margin optik dari Banyu Urip sebesar 4,75 dB sedangkan untuk Kalukubodoa sebesar 2,63 dB yang keduanya memenuhi syarat sebagai sistem transmisi. Begitu pula untuk sistem penerimanya yang mempunyai End of Life margin optik untuk Banyu Urip sebesar 9,85 dB sedangkan untuk Kalukubodoa sebesar 15,03 dB yang akan memenuhi syarat sebagai sistem transmisi pula.

Tabel 4.7 Anggaran Daya Optik untuk Sistem Ujung Pandang - Surabaya

Pemancar (Stn ke Rep)			Banyu Urip	Kalukubodoa
No	Deskripsi	Unit	Nilai	Nilai
A	Panjang kabel darat	km	3,50	34,00
B	Panjang kabel laut ke repeater 1	km	16,50	7,20
1	Redaman kabel laut / km	dB/km	0,21	0,21
2	Redaman kabel darat / km	dB/km	0,23	0,23
3	Redaman keausan fiber untuk rentang pantai	dB/km	0,01	0,01
4	Rugi-rugi splice / splice	dB	0,20	0,20
5	Rugi-rugi konektor / konektor	dB/kon	0,50	0,50
6	Jumlah splice kabel darat		3	17
7	Daya input repeater yang dibutuhkan (BOL)	dBm	-14,75	-14,75
8	Daya input repeater yang dibutuhkan (EOL)	dBm	-15,75	-15,75
9	Daya output repeater darat / LTE	dBm	-3,00	3,00
10	Rugi-rugi konektor repeater darat/ LTE	dB	0,50	0,50
11	Rugi-rugi kabel interoffice	dB	0,10	0,10
12	Rugi-rugi splice CTB	dB	0,20	0,20
13	Rugi-rugi splice kabel darat (Stn ke BM) (no 4 x no 6)	dB	0,60	3,40
14	Rugi-rugi kabel darat (Stn ke BM) (A x no 2)	dB	0,81	7,82
15	Rugi-rugi splice Beach manhole	dB	0,20	0,20
16	Rugi-rugi kabel laut (BM ke rep 1) (B x no 1 - no 11)	dB	3,40	1,48
17	Rugi-rugi kabel keseluruhan (Stn ke rep 1) (B x no 1 + no 14)	dB	4,30	9,40
18	Rugi-rugi konektor & splice keseluruhan (Stn ke rep 1) (no 10 + no 12 + no 13 + no 15)	dB	1,50	4,30
19	Rugi-rugi total antara LTE dan rep 1 (no 17 + no 18)	dB	5,80	13,70
20	Rugi-rugi kabel fiber tambahan ((A + B) x no 3)	dB	0,20	0,41
21	Repair margin	dB	2,00	2,00
22	Total keausan yang diproduksi (no 20 + no 21)	dB	2,20	2,41
23	Daya input repeater (BOL) (no 9 - no 19)	dBm	-8,80	-10,70
24	Daya input repeater (EOL) (no 9 - no 19 - no 22)	dBm	-11,00	-13,12
25	Margin optik EOL (no 24 - no 8)	dB	4,75	2,63

Penerima (rep ke stn)

No	Deskripsi	Unit	Nilai	Nilai
1	Redaman kabel laut / km	dB/km	0,21	0,21
2	Redaman kabel darat / km	dB/km	0,23	0,23
3	Redaman keausan fiber untuk rentang pantai	dB/km	0,01	0,01
4	Dispersi kabel yang diperkenankan	ps/nm	220,00	220,00
5	Rugi-rugi splice / splice	dB	0,20	0,20
6	Rugi-rugi konektor / kon	dB	0,50	0,50
7	jumlah splice kabel darat		3	17
8	Daya output repeater (BOL)	dBm	6,15	6,15
9	Daya output repeater (EOL)	dBm	5,15	5,15
10	Daya input minimum LTE / repeater darat	dBm	-11,70	-25,00
11	Daya input maksimum LTE / repeater darat	dBm	3,35	-5,00
12	Rugi-rugi konektor repeater darat / LTE	dB	0,50	0,50
13	Rugi-rugi kabel interoffice	dB	0,10	0,10
14	Rugi-rugi splice CTB	dB	0,20	0,20
15	Rugi-rugi splice kabel darat (Stn ke BM)	dB	0,60	3,40

16	(no 5 x no 7) Rugi-rugi kabel darat (Stn ke BM) (A x 2)	dB	0,81	7,82
17	Rugi-rugi splice beach manhole	dB	0,20	0,20
18	Rugi-rugi kabel laut (BM ke rep 1) (B x no 1 - no 13)	dB	3,40	1,48
19	Rugi-rugi kabel keseluruhan (Stn ke rep 1) (B x no 1 + no 16)	dB	4,30	9,40
20	Rugi-rugi konektor dan splice keseluruhan (Stn ke rep 1) (no 12 + no 14 + no 15 + no 17)	dB	1,50	4,30
21	Rugi-rugi total antara LTE dan rep 1 (no 19 + no 20)	dB	5,80	13,70
22	Rugi-rugi kabel fiber tambahan ((A+B) x no 3)	dB	0,20	0,41
23	Repair margin	dB	2,00	2,00
24	Total keausan yang diprediksi (no 22 + no 23)	dB	2,20	2,41
25	Daya input repeater darat / LTE (BOL) (no 8 - no 21)	dBm	0,35	-7,55
26	Daya input repeater darat / LTE (EOL) (no 8 - no 21 - no 24)	dBm	-1,85	-9,97
27	Margin optik EOL (no 26 - no 9)	dB	9,85	15,03

4.6 Perencanaan Sistem Catu Daya Repeater

Setelah melakukan perhitungan antar jarak repeater sehingga dapat diketahui jumlah repeater dalam sistem yang diperlukan, maka dapat dilakukan pula perhitungan untuk mengetahui sistem catu daya pada repeater tersebut. Sistem catu daya konfigurasi peralatan repeater terpasang dilakukan peralatan catu daya repeater (PFE) yang terdapat pada kedua sisi stasiun terminal. Sistem catu daya repeater yang dilakukan umumnya menggunakan metode pencatutan arus konstan (DC) secara seri. Pencatutan ini dilakukan secara seimbang pada sisi stasiun terminal. Arus catu daya repeater dialirkan melalui kabel catu daya repeater, berupa lapisan atau selubung kawat konduktor tembaga pada bagian pelindung luar kabel laut serat optik.

Pada sistem catu daya repeater dengan menggunakan metode pencatutan arus konstan secara seri, jumlah total tegangan yang dibutuhkan sistem secara keseluruhan merupakan akumulasi jumlah tegangan yang dibutuhkan setiap perangkat repeater.

Sistem membutuhkan jumlah tegangan total yang lebih besar apabila jumlah perangkat repeater terpasang semakin banyak. Besarnya jumlah tegangan total maksimum yang harus dicatu peralatan PFE ditentukan faktor berikut ini⁵⁸:

- Besarnya drop tegangan yang terjadi pada setiap perangkat repeater yang digunakan ($V_{drop\ repeater}$)
- Besarnya drop tegangan yang terjadi akibat perubahan resistansi kabel catu daya yang digunakan ($V_{drop\ kabel}$)
- Besarnya drop tegangan yang terjadi karena adanya perbedaan potensial tanah di antara kedua perangkat PFE pada setiap sisi stasiun terminal ($V_{drop\ tanah}$)

Maka dengan data yang dikumpulkan dapat dilakukan perhitungan tegangan maksimum catu daya pada tiap sisi PFE.

Perhitungan tegangan PFE Surabaya-Banjarmasin

Data teknis

- Panjang bentangan kabel : 432 km
- Jumlah perangkat repeater : 5 buah
- Drop tegangan repeater : 8 Volt / repeater
- Arus catu daya repeater : 0,92 Ampere
- Resistansi DC kabel catu daya : $0,8 \Omega / km$
- Koefisien resistansi DC kabel catu daya : $0,004 \Omega / km \cdot ^\circ C$
- Perubahan temperatur sekitar : $0 \sim 20 \cdot ^\circ C$
- Perbedaan potensial tanah : 0.5 Volt/mil

Perhitungan drop tegangan konfigurasi perangkat repeater yang digunakan

$$V_{drop\ repeater} = \text{tegangan drop / repater} \times \text{jumlah repeater}$$

⁵⁸ PT Telkom Surabaya-Banjarmasin Optical Fiber Submarine Cable System Handbook, Jakarta, 1990.

$$= 8 \text{ Volt/repeater} \times 5 \text{ repeater}$$

$$= 40 \text{ Volt}$$

Drop tegangan resistansi kabel catu daya repeater

Resistansi total kabel = resistansi kabel + koefisien resistansi kabel pengaruh perubahan temperatur

$$= 0,8 \Omega / \text{km} + [0,004 \times 20]$$

$$= 0,88 \Omega / \text{km}$$

Vdropkabel = resistansi total kabel x panjang kabel x arus

$$= 0,88 \Omega / \text{km} \times 432 \text{ km} \times 0,92$$

$$= 349,75 \text{ Volt}$$

Drop tegangan karena perbedaan potensial tanah antara kedua terminal

Vdroptanah = potensial tanah x panjang kabel

$$= 0,5 \text{ V/mil laut} \times 432 \text{ km} / 1,855 \text{ mil laut /km}$$

$$= 116,44 \text{ Volt}$$

Total tegangan catu daya repeater

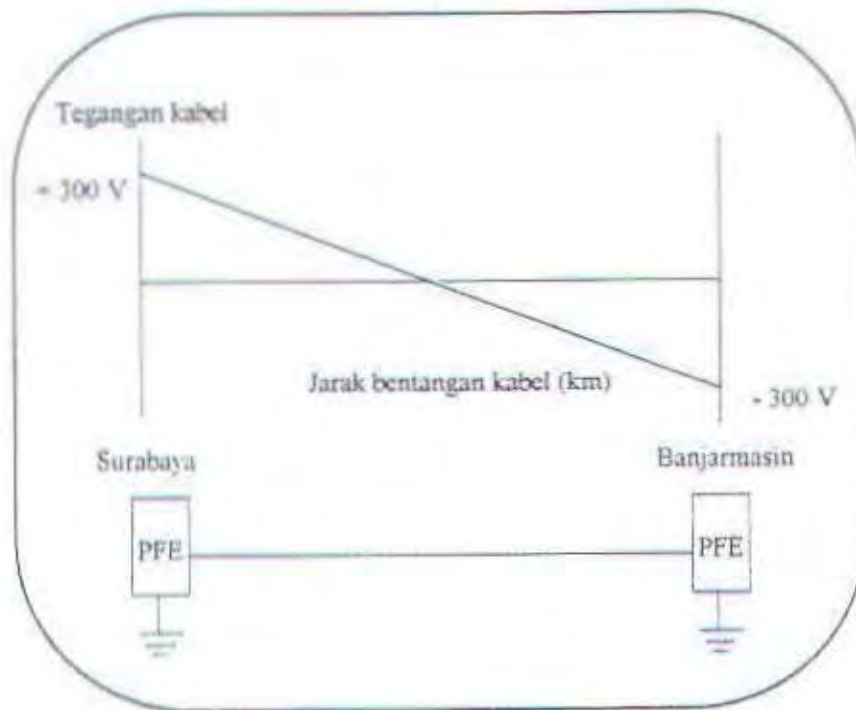
Vtotal = Vdroprepeater + Vdropkabel + Vdroptanah

$$= 40 + 349,75 + 116,44$$

$$= 506,19 \text{ Volt}$$

Berdasar perhitungan diatas, jumlah total tegangan maksimum catu daya repeater yang harus dicatu PFE sebesar 506,19 Volt, maka untuk memberikan pengamanan sistem catu daya repeater, pada umumnya peralatan PFE akan memberikan tambahan cadangan tegangan catu daya sekitar 5 ~ 20 % dari jumlah total tegangan maksimum dari hasil

perhitungan⁵⁹ Sehingga jumlah total tegangan maksimum yang harus dicatu peralatan PFE sebesar 600 Volt.



Gambar 4.6 Sistem pencatutan daya repeater untuk Sistem Surabaya - Banjarmasin

Apabila digunakan sistem pencatutan seimbang kedua perangkat PFE setiap sisi stasiun terminal, maka masing-masing peralatan PFE akan memberikan catutan daya sebesar 300 Volt. Peralatan PFE sisi stasiun terminal memberikan pencatutan dengan polaritas positif, sedangkan perangkat PFE yang lainnya mencatu dengan polaritas negatif.

Perhitungan tegangan PFE Banjarmasin - Ujung Pandang

Data teknis

- Panjang bentangan kabel : 648 km
- Jumlah perangkat repeater : 7 buah

⁵⁹ Seiichi Shimura, Op.cit. hal 131

- Drop tegangan repeater : 8 Volt / repeater
- Arus catu daya repeater : 0.92 Ampere
- Resistansi DC kabel catu daya : 0,8 Ω /km
- Koefisien resistansi DC kabel catu daya : 0.004 Ω /km $^{\circ}$ C
- Perubahan temperatur sekitar : 0 ~ 20 $^{\circ}$ C
- Perbedaan potensial tanah : 0.5 Volt/mil

Perhitungan drop tegangan konfigurasi perangkat repeater yang digunakan

$V_{droprepeater} = \text{tegangan drop / repater} \times \text{jumlah repeater}$

$$= 8 \text{ Volt/repeater} \times 7 \text{ repeater}$$

$$= 56 \text{ Volt}$$

Drop tegangan resistansi kabel catu daya repeater

Resistansi total kabel = resistansi kabel + koefisien resistansi kabel pengaruh perubahan temperatur

$$= 0,8 \Omega / \text{km} + [0.004 \times 20]$$

$$= 0,88 \Omega / \text{km}$$

$V_{dropkabel} = \text{resistansi total kabel} \times \text{panjang kabel} \times \text{arus}$

$$= 0,88 \Omega / \text{km} \times 648 \text{ km} \times 0,92$$

$$= 524,62 \text{ Volt}$$

Drop tegangan karena perbedaan potensial tanah antara kedua terminal

$V_{droptanah} = \text{potensial tanah} \times \text{panjang kabel}$

$$= 0,5 \text{ V/mil laut} \times 648 \text{ km} / 1,855 \text{ mil laut /km}$$

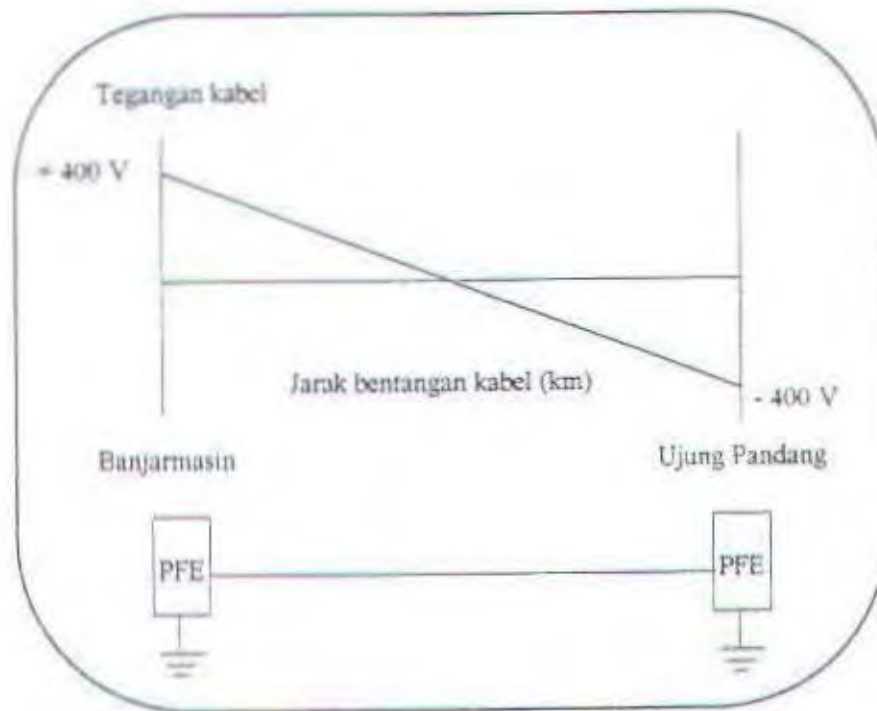
$$= 174,66 \text{ Volt}$$

Total tegangan catu daya repeater

$V_{total} = V_{droprepeater} + V_{dropkabel} + V_{droptanah}$

$$= 56 + 524,62 + 174,66$$

$$= 755,28 \text{ Volt}$$



**Gambar 4.7 Sistem pencatutan daya repeater untuk
Sistem Banjarmasin -Ujung Pandang**

Dari perhitungan diatas menunjukkan bahwa jumlah total tegangan maksimum catu daya repeater yang harus dicatu PFE sebesar 755,28 Volt, maka untuk memberikan pengamanan sistem catu daya repeater, diberikan tambahan cadangan tegangan catu daya sekitar 5 ~ 20 % dari jumlah total tegangan maksimum hasil perhitungan. Sehingga jumlah total tegangan maksimum yang harus dicatu peralatan PFE sebesar 800 Volt. Bila digunakan sistem pencatutan secara seimbang pada kedua peralatan PFE setiap sisi stasiun terminal, maka masing-masing peralatan PFE akan memberikan catuan daya sebesar 400 Volt. Perangkat PFE sisi stasiun terminal memberikan pencatutan dengan

polaritas positif, sedangkan perangkat PFE yang lainnya mencatu dengan polaritas negatif.

Perhitungan tegangan PFE Ujung Pandang - Surabaya

Data teknis

- Panjang bentangan kabel : 879 km
- Jumlah perangkat repeater : 10 buah
- Drop tegangan repeater : 8 Volt / repeater
- Arus catu daya repeater : 0.92 Ampere
- Resistansi DC kabel catu daya : $0,8 \Omega / \text{km}$
- Koefisien resistansi DC kabel catu daya : $0,004 \Omega / \text{km} \cdot ^\circ \text{C}$
- Perubahan temperatur sekitar : $0 \sim 20 ^\circ \text{C}$
- Perbedaan potensial tanah : 0.5 Volt/mil

Perhitungan drop tegangan konfigurasi perangkat repeater yang digunakan

$$\begin{aligned}
 V_{\text{droprepeater}} &= \text{tegangan drop / repater} \times \text{jumlah repeater} \\
 &= 8 \text{ Volt/repeater} \times 10 \text{ repeater} \\
 &= 80 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

Drop tegangan resistansi kabel catu daya repeater

Resistansi total kabel = resistansi kabel + koefisien resistansi kabel pengaruh perubahan temperatur

$$\begin{aligned}
 &= 0,8 \Omega / \text{km} + [0,004 \times 20] \\
 &= 0,88 \Omega / \text{km}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{dropkabel}} &= \text{resistansi total kabel} \times \text{panjang kabel} \times \text{arus} \\
 &= 0,88 \Omega / \text{km} \times 879 \text{ km} \times 0,92 \\
 &= 711,64 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

Drop tegangan karena perbedaan potensial tanah antara kedua terminal

$$\begin{aligned} V_{\text{droptanah}} &= \text{potensial tanah} \times \text{panjang kabel} \\ &= 0,5 \text{ V/mil laut} \times 879 \text{ km} / 1,855 \text{ mil laut /km} \\ &= 236,92 \text{ Volt} \end{aligned}$$

Total tegangan catu daya repeater

$$\begin{aligned} V_{\text{total}} &= V_{\text{droprepeater}} + V_{\text{dropkabel}} + V_{\text{droptanah}} \\ &= 80 + 711,64 + 236,92 \\ &= 1028,56 \text{ Volt} \end{aligned}$$



**Gambar 4.8 Sistem pencatuan daya repeater untuk
Sistem Ujung Pandang - Surabaya**

Perhitungan diatas menghasilkan jumlah total tegangan maksimum catu daya repeater yang harus dicatu perangkat PFE sebesar 1028,56 Volt, tetapi untuk memberikan pengamanan sistem catu daya repeater, pada umumnya perangkat PFE akan memberikan tambahan cadangan tegangan catu daya sekitar 5 ~ 20 % dari jumlah total

tegangan maksimum hasil perhitungan. Sehingga jumlah total tegangan maksimum yang harus dicatu peralatan PFE sebesar 1100 Volt. Apabila digunakan sistem pencatutan seimbang pada kedua perangkat PFE setiap sisi stasiun terminal, maka masing-masing peralatan PFE akan memberikan catutan daya sebesar 550 Volt. Peralatan PFE pada sisi stasiun terminal memberikan pencatutan dengan polaritas positif, sedangkan perangkat PFE yang lainnya mencatu dengan polaritas negatif.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dengan mempelajari faktor-faktor yang diperlukan untuk menerapkan Sistem Komunikasi Kabel Laut Serat Optik Surabaya - Ujung Pandang - Banjarmasin maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemilihan jenis kabel laut yang dipergunakan didasarkan pada kedalaman laut dan keadaan lingkungan sekitarnya yang diharapkan agar dapat memberikan perlindungan terhadap serat optik yang dibungkusnya.
2. Dengan menggunakan repeater berpenguat optik maka regenerasi hanya terjadi pada terminal saja sedangkan repeater bawah laut hanya memberikan penguatan optik yang mengkompensasi redaman dari sinyal terpancar yang melewati kabel laut. Sehingga sistem pentransmisian menjadi lebih sederhana dan efisien tanpa menggunakan proses regenerasi 3R (retiming, reshaping dan regenerating) yang pernah dipakai oleh repeater generasi sebelumnya.
3. Sistem yang terpasang dapat ditingkatkan tanpa harus mengganti atau menambah repeater karena memiliki kemampuan upgradable ke laju bit yang lebih tinggi dengan mengganti peralatan terminal yang disesuaikan dengan laju bit yang diinginkan.
4. Repeater dengan penguat optik memiliki jangkauan kapasitas yang lebar, sehingga jumlah sinyal yang disalurkan lebih banyak, maka dengan laju bit 5 Gbit/s didapat jumlah salurannya kurang lebih 60.000 saluran.
5. Keandalan dari sistem yang tinggi karena repeater memiliki jumlah komponen yang sedikit serta kerumitan komponen yang tidak begitu kompleks dan memiliki

kemampuan redundansi dari peralatan repeater maupun peralatan terminal sehingga dapat memberikan pelayanan yang lebih baik.

6. Memiliki life time kurang lebih selama 25 tahun dengan tidak lebih dari 3 kali ship repair (perbaikan) yang disebabkan kerusakan komponen secara spontan dan tidak disebabkan faktor eksternal misalnya kerusakan kabel laut karena jangkar, pukut dan lain sebagainya.
7. Yang menjadi perhatian dalam pembangunan proyek Sistem Komunikasi Kabel Laut Serat Optik adalah kegiatan analisa berdasarkan data dan informasi -informasi yang terkait sehingga memudahkan dalam menentukan rute survey dan mengoptimumkan ketepatan rute survey dalam pembangunan rute kabel laut.

5.2 Saran

Untuk pengembangan jaringan yang lebih luas, maka sebaiknya dengan menggunakan pencabangan (branching unit) untuk menghubungkan dengan kota-kota disekitar terminal-terminal Surabaya - Ujung Pandang - Banjarmasin, misalnya untuk sekitar Surabaya yaitu Lamongan maka untuk menghubungkannya cukup menggunakan pencabangan sedangkan untuk mengatasi jumlah kapasitas yang semakin bertambah maka dapat dilakukan dengan meningkatkan laju bitnya dengan menggunakan teknologi WDM (Wavelength Division Multiplexing) yang kemampuannya dapat ditingkatkan hingga 10 Gbit/s.

DAFTAR PUSTAKA

1. AT&T. 1990. Lightwave Undersea Transmission Systems', Document Presentation, AT&T. Colorado
2. AT&T Technical Journal. 1995. " Undersea Optically Amplified Repeated Technology, Product, and Challenges ". January / February. Volume 74. hal 35 - 50.
3. CCITT, Rec. G.781, Multiplexing Equipment For SDH, Geneva, 1991.
4. CCITT, Rec. G.957, Optical Interface For Equipment And System Relating To The Synchronous Digital Hierarchy, Geneva, 1991.
5. CCITT, Rec. G.707, Synchronous Digital Hierarchy Bit Rate, Geneva, 1991.
6. CCITT, Rec. G.709, Synchronous Multiplexing Structure, Geneva, 1991.
7. Gerd Keiser. 1993. Optical Fiber Communications. Singapore : McGraw-Hill.
8. Govind P. Agrawal. 1992. Fiber-Optic Communication System. Canada : John Wiley & Sons
9. Gunther Mahlke dan Peter Gossing. 1993. Fiber Optik Cables: fundamentals, cable engineering, system planning. Berlin : Siemens Aktiengesellschaft.
10. ITU-TS, Rec. G.826, Performance Exceeds International Standards on Transmission Quality
11. Jonathan L. parapak. 1990. " Application Of Optical Fiber Technology In Submarine Cable Systems ". Makalah Seminar PT Telkom. Jakarta.
12. PERUMTEL. 1980. Sistem Komunikasi Kabel Laut ASEAN Indonesia - Singapura. Departemen Perhubungan - Direktorat Jenderal Pos Dan Telekomunikasi, Jakarta.

13. PT Telekomunikasi Indonesia & KDD Submarine Cable System Inc. & Tomen
Cooperation Contract for Supply & Instalation Of Su-Uj-Bjm Optical Fiber Cable
Transmission System. Volume 3.
14. PT Telkom. 1989. Contract Surabaya - Banjarmasin Optical Fiber Submarine Cable
Project Between Java Island and Kalimantan Island, Joint Operation of Toyo Menka
Kaisha Ltd -PT Nusantara Submarine Cable Service - Sumitomo Corporation.
Jakarta.
15. PT Telkom. 1990. Surabaya-Banjarmasin Optical Fiber Submarine Cable System
Handbook. Jakarta.
16. PT Telekomunikasi Indonesia. Teknologi Optik. Pusat Pendidikan dan Latihan.
17. PT Trirech Consult. Laporan hasil survey SKKL.
18. Robert G. Winch. 1993. Telecommunication Transmission System. Singapore : Mc
Graw-Hill, Inc.
19. Robert J. Hoss dan Edward A. Lacy. 1982. Fiber Optics. New Jersey : Hall.
20. Seiichi Shimura. 1985. International Submarine cable Systems, Journal, KDD
Engineering And Consulting, Inc. Tokyo.
21. Tsong-Ho Wum. 1992. Fiber Network Service Survivability. Norwood. Artech
House.

LAMPIRAN

	Class	LEDs		Class	Lasers		
		800-850 GaAlAs	1300 GaInAsP		800-850 GaAlAs	1300 GaInAsP	1500 GaInAsP
Wavelength							
Material				MM	1-2	2-5	2-10
Spectrum width (nm)		30-60	50-150	MM	0.3	0.9	0.13
Mode spacing (nm)				SM FP		150	150
Line width SM (nm)				DFB		10-30	10-30
				EC		1-10	1-10
				EG		0.002-1	0.002-1
Structure					PI, CSP, DH	DH	DH
Output power (mW)		0.5-4.0	0.4-0.6	CSP	20-50		
				DH	2-8	1.5-8	1.5-8
Coupled power (mW) - 100- μ m core	Surface	0.1-1.5		MM		0.5-7.0	
	Edge	0.3-0.45	0.04-0.075				
50- μ m core	Surface	0.01-0.05	0.015-0.035	MM	0.5-0.25	0.4-3.0	0.5
	Edge	0.05-0.13	0.03-0.06	SM	1.5-3		
Single-mode	Edge		0.003-0.03	MM		0.25-1	0.25-0.8
Extinction ratio					25:1	25:1	25:1
Drive current (mA)		50-150	100-150	CSP	40-80		
				DH	10-40	25-130	
Rise time (ns)	Surface	4-14					
	Edge	2-10	2.5-10	DH	0.3-1	0.3-0.7	0.3-0.7

Lampiran A.1 Tipe dan karakteristik jenis sumber optik yang ada

	LEDs			Lasers		
Modulation Frequency (GHz)	0.03-0.15	0.1-0.3	MM	2-3	2-3	2-3
Temperature Drift						
Wavelength nm/°C	0.3	0.6		0.15-0.2	0.3	0.4
Power, %/°C	-0.2, -0.5	-0.9				
Threshold current, %/°C				0.8	1.6-2	3
Linearity						
2nd harmonic	-30 to -40 dB @ $M_a = 0.5$			-40 to -55 dB		
3rd harmonic	-35 to -40 dB @ $M_a = 0.5$			-50 to -70 dB		
Beam width (half)						
Parallel	Surface	120-180°	CSP	5°		
Perpendicular	Surface	120-180°	CSP	10-25°		
Parallel	Edge	150°	DH	10-25°	10-30°	10-30°
Perpendicular	Edge	30-70°	DH	20-35°	30-40°	30-40°
Lifetime (Million hours)	1-10	50-1000		1-10	0.5-50	0.5-50

MM = Multimode
 SM = Singlemode
 FP = Fabry Perot
 DFB = Distributed Feedback
 EC = External Cavity
 EG = External Grating
 CSP = Channel Substrate Planar
 DH = Buried Heterostructure
 PI = Proton Implantation

Lampiran A.1 Tipe dan karakteristik jenis sumber optik yang ada (lanjutan)

General class EIA class	Multimode					Single mode		
	IA and IB		IC	II	III	IVA	IVB	IVC
Index description	Graded and Quasigraded		Step	Step	Step	Dispersion unshifted	Dispersion shifted	Dispersion flat
Core material	Glass		Glass	Glass	Plastic	Glass	Glass	Glass
Cladding material	Glass		Glass	Plastic	Plastic	Glass	Glass	Glass
Profile (g)	1-3 graded, 3-10 quasigraded		>10	>10	>10	N.A.	N.A.	N.A.
Core dia. (μm)	50	62.5	50-100	200-600	454-980	8.7-10	7-8.7	7-8.7
Clad dia. (μm)	125	125	125-140	230-650	500-1000	125	125	125
Tolerance:								
Core dia.	±3 μm	±3 μm	±3 μm	±4 μm	±8 μm	±10 μm	±8%	±8%
Concentricity	<6%	<6%	<6%	<6%	<10%	<10%	<1 μm	<1 μm
Clad dia.	±2 μm	±3 μm	±3 μm	±4 μm	±10 μm	±10 μm	±2 μm	±2 μm
Attenuation (dB/km)								
① 570 nm								
① 650 nm								
① 850 nm	2.6-3.5	3.0-4.1	3.0-4.1	3.0-7.0	4.0-6.0	3.0-8.0	0.4-0.7	0.4-0.5
① 1310 nm	0.7-1.6	0.8-1.8	1.0-1.8	1.5-5.0			0.25-0.3 -0.1	0.25-0.3
① 1550 nm								
① 2-5 μm predicted								
Numerical aperture	0.19-0.25	0.21-0.31	0.24-0.3	0.21-0.3	0.15-0.3	0.27-0.37	0.47	
Material dispersion (ps/nm/km)								
① 850 nm	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120	100-120	N.A.	
① 1300 nm	0.9-3.5	3.0-10	3.0-10	3.0-10			0.9-4.0 20	3.5
① 1550 nm								3.5
EDWL (MHz-km)								
① 850 nm	200-600	150-500	150-350	20-500	10-60	9-25	0.5	
① 1300 nm	400-1500	300-1100	300-1000	20-400				

N.A. = not applicable

N.A. = not applicable

Lampiran A.2 Tipe dan karakteristik jenis serat optik yang ada

Multimode	Insertion loss								Repeat-ability	Temperature range
	50/125		62.5/125		85/125		100/140			
Fiber size									dB	°C
Biconic	0.6-0.8	0.85-1.5	0.6-0.8	0.85-1.5	0.6-0.8	0.85-1.2	0.4-0.7	0.85	0.3-1	-40 to +80
NEC-D4	0.4-0.5	0.7-1	0.4-0.5	0.7-1	0.4-0.5	0.7-1	0.5	0.7-1	0.1-0.3	-40 to +80
NTT-FC	0.4-0.8	0.5-1	0.3-0.8	0.6-1	0.3-0.8	0.6-1	0.5-0.7	0.7-1	0.05-0.3	-40 to +85
SSTA	0.6-1.5	1-3	0.6-1	1-2	0.6-1	1-2	0.5-0.8	1-2	0.1-0.5	-60 to +125
ST	0.2-0.8	0.5-1.5	0.2-0.6	0.5-1.5	0.2-0.6	0.5-1.5	0.2-0.5	0.5-1.2	0.1-0.2	-40 to +70
Expanded beam	1.5	2	1.5	2	1.5	2	1.5	2	0.2	-30 to +80
Thermoplastic	1.5-1.7	2	1.5-1.2	2	1-1.5	2	0.8-1	1.5-2	0.05-1	-40 to +70
Mini-BNC	0.6	1	0.5	1	0.5	1	0.4	1	0.1-0.3	-20 to +80
Military	1.2	1.7	1.2	1.7	1.2	1.7	0.9	1.7	0.2	-65 to +200

Single mode	Insertion loss		Repeatability	Temperature range
	Mean	Maximum		
			dB	°C
Biconic	0.5-0.7	0.75-1.5	0.1-0.3	-20 to +60
NEC-D4	0.5-0.8	0.6-1.2	0.02-0.3	-40 to +80
NTT-FC	0.15-0.8	0.3-1.2	0.05-0.5	-40 to +85
NTT-PC	0.3-0.5	0.5-1.0	0.1	-40 to +85
Expanded beam	0.3-0.6		0.2	-40 to +80

Data compiled from suppliers' data sheets and *Lightwave Magazine* special report, July 1986, page 28.

Lampiran A.3 Tipe dan karakteristik jenis konektor optik yang ada

Parameter	Unit	Silicon		Germanium		InGaAs	
		PIN	APD	PIN	APD	PIN	APD
Wavelength range	nm	400-1100		800-1500		900-1700	
Peak	nm	900	830	1550	1300	1300 (1550)	1300 (1550)
Responsivity	A/W	0.6	77-150	0.65-0.7	3-28	0.6-0.8 (0.75-0.97)	
Chip	A/W					0.5-0.7 (0.6-0.8)	
Coupled	A/W	0.35-0.55	50-120	0.5-0.65	2.5-25		
Quantum efficiency	%	65-95	77	50-55	55-75	60-70	60-70
Gain	G	1	150-250	1	5-40	1	10-30
Excess noise factor	F	—	0.3-0.5	—	0.95-1	—	0.7
K _{ex}	k	—	0.02-0.08	—	0.7-1	—	0.3-0.7
Bias voltage	V	4.5-5(V)	220	6-10	20-35	5	<10
Dark current	nA	1-10	—	50-5(V)	—	1-20	1-5
Nonmulti	nA	—	0.1-1.0	—	10-500	—	1-5
Multi	nA	—	1.3-2	2-5	2-5	0.5-2	0.5
Capacitance	pF	1.5-3	0.1-2	0.1-0.5	0.5-0.8	0.06-0.5	0.1-0.5
Rise time	ns	0.5-1	0.1-2	0.1-0.5	0.5-0.8	0.06-0.5	0.1-0.5

* The author wishes to acknowledge Dr. Tim Min for some of the information upon which this table was developed.

Lampiran A.4 Tipe dan karakteristik jenis detektor optik yang ada

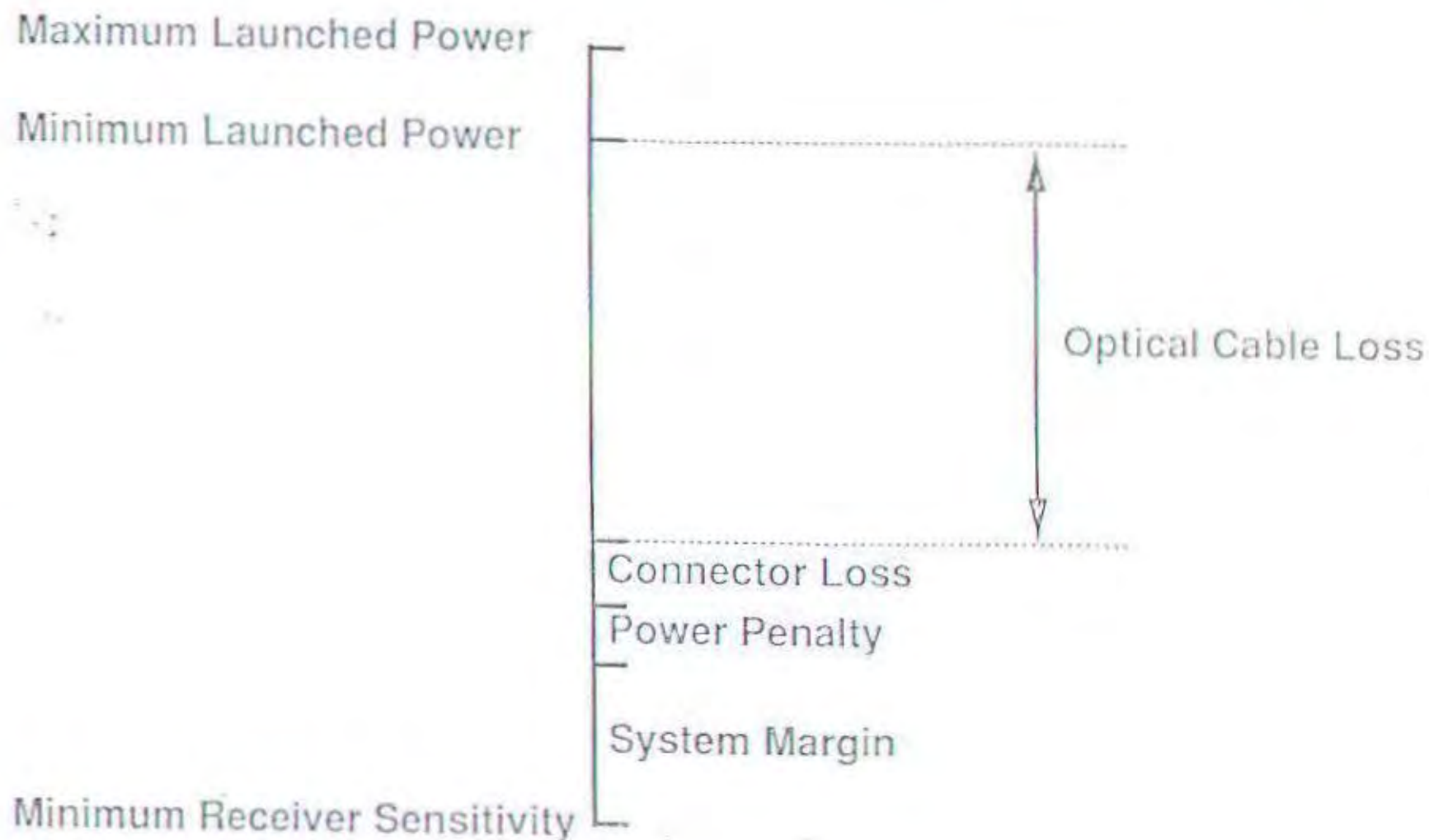




SUBMARINE OPTICAL REPEATER

Relationship of the Optical Parameters

NTT



24 AUG 1997

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO-ITS

EE 1799 TUGAS AKHIR - 6 SKS

Nama	I. G. P. Asto Buditjahjanto
Nomor Pokok	2295.100.509
Bidang Studi	Telekomunikasi
Tugas diberikan	Agustus 1997
Dosen Pembimbing	Ir. Achmad Ansori, DEA
Judul Tugas Akhir	

ANALISA PERHITUNGAN
SISTEM KOMUNIKASI KABEL LAUT SERAT OPTIK
ANTARA SURABAYA - BANJARMASIN - UJUNG PANDANG

Uraian Tugas Akhir:

Sistem transmisi dengan menggunakan serat optik memiliki keunggulan dan kelebihan dalam hal kemampuan jumlah kapasitas kanal informasi, memiliki redaman transmisi yang rendah dan dispersi yang minimum, memiliki kualitas dan keandalan yang cukup tinggi serta memiliki dimensi dengan ukuran yang kecil dan ringan.

Untuk itu dalam penggelaran hubungan komunikasi antara Surabaya - Banjarmasin - Ujung Pandang diperlukan analisa perhitungan agar diperoleh suatu sistem yang optimal dan efisien dengan menggunakan keunggulan dari serat optik tersebut.

Menyetujui
Bidang Studi Teknik Telekomunikasi
Koordinator

Surabaya, 19 Agustus 1997
Dosen Pembimbing

(Ir. M. Aries Purnomo)
NIP 130 532 040

(Ir. Achmad Ansori, DEA)
NIP 131855878

Mengetahui
Jurusan Teknik Elektro FTI - ITS
Ketua

(Ir. Teguh Juwono)
NIP 130 604 244



USULAN TUGAS AKHIR

A. JUDUL TUGAS AKHIR

ANALISA PERHITUNGAN SISTEM KOMUNIKASI KABEL LAUT SERAT OPTIK ANTARA SUKABAYA - BANJARMASIN - UJUNG PANDANG

B. RUANG LINGKUP

Sistem Komunikasi Optik
Transmisi Gelombang Elektromagnetik
Sistem Komunikasi

C. LATAR BELAKANG

Indonesia sebagai negara kepulauan yang terpisah satu sama lain serta jumlah penduduk yang besar diperlukan suatu media yang digunakan untuk menghubungkan kepulauan tersebut, maka dipilihlah SKKL serat optik sebagai media penghubung karena memiliki keunggulan - keunggulan seperti kemampuan untuk mentransmisikan informasi dengan laju bit yang tinggi, kemudahan perawatan dan operasi, kualitas informasi yang lebih baik serta kehandalan yang tinggi. Untuk itu dalam penerapan teknologi SKKL serat optik tersebut diperlukan suatu analisa perhitungan agar dapat diperoleh sistem yang memudahkan untuk operasi dan pemeliharaan serta penghematan biaya investasi.

D. PERMASALAHAN

Pemilihan lokasi dan rute dimana kabel laut serat optik akan ditempatkan, pemilihan jenis kabel laut serat optik yang akan digunakan dan cara pemasangan kabel laut serat optik sesuai dengan kondisi dasar laut dimana kabel laut akan ditempatkan. Yang kesemuanya membutuhkan suatu analisa perhitungan.

E. TUJUAN

Untuk mendapatkan perencanaan dan perancangan SKKL Serat Optik sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan sehingga dapat diperoleh suatu sistem yang optimal dan efisien.

F. LANGKAH - LANGKAH

1. Mencari Literatur
2. Studi Literatur
3. Pengumpulan Data
4. Pengolahan Data
5. Penulisan Naskah

G. JADUAL KEGIATAN

KEGIATAN	BULAN					
	I	II	III	IV	V	VI
Mencari literatur						
Studi literatur						
Pengumpulan data						
Pengolahan data						
Penulisan naskah TA						

H. RELEVANSI

Memberi masukan dan menambah wawasan bagi penyelenggara jasa komunikasi serat optik kabel laut, sehingga diharapkan dapat memberikan suatu rekomendasi dalam pengimplementasian SKKL serat optik untuk komunikasi jarak jauh.